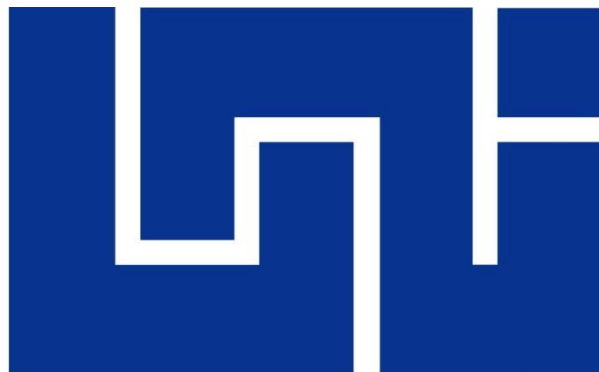


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA.**  
**FACULTAD DE ELECTROTECNIA Y COMPUTACIÓN.**



*Líder en Ciencia y Tecnología*

**ANÁLISIS DEL ESTÁNDAR ISDB-T PARA SER UTILIZADO EN UNA POSIBLE  
IMPLEMENTACIÓN DE LA TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE EN NICARAGUA.**

**Monografía para Optar al Título de Ingeniero en Telecomunicaciones.**

**Autores:**

**Br. David Mauricio Miranda Valdivia.**

**Br. Oscar Ronaldo Fuentes Sánchez.**

**Br. Samlith Amilkar Urbina López.**

**Tutor:**

**Msc. Oscar Napoleón Martínez.**

**Managua, Agosto 2015**



## AGRADECIMIENTOS.

A Dios por concedernos la oportunidad de ejercer con este reto, por darnos la fuerza y guiarnos hasta cumplir con esta meta.

A nuestros Padres, por los ejemplos de perseverancia y constancia que nos han infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante y por su amor.

A nuestras Madres, que con su demostración ejemplar nos han instruido a no desfallecer ni rendirnos ante nada y siempre permanecer a través de sus sabios consejos.

A nuestro asesor de monografía, por su dedicación y guía en la realización de este trabajo.

Nuestros hermanos y familiares, fuente de apoyo constante e incondicional en toda nuestra vida.



## ABSTRACT.

Digital terrestrial television is a whole reality in developed countries, becoming not only a means to transmit television service to different levels of quality and definition but besides this it is possible to bring the Internet to the last mile, becoming a platform for multiple applications spilling from a range of opportunities and development, as in the case of emergency warning systems, which allows you to move information systems and routed to be able to meet risks caused by natural disasters considering that this could be before communications after the event.

Currently there are multiple standards for digital terrestrial television, but from the perspective of this work (with a purely technical approach) ISDB-T standard is technically most suited to the Nicaraguan environment, due to their features, benefits and current reality from the country.

For this a recital an ideal scenario based on the propagation model of free space so that using the standard is to determine the levels of optimal coverage, considering modulation scheme, transmission rate, error probability (BER) analysis was performed, and transmission power.

It is noteworthy that the ISDB-T standard provides using two modulation schemes two types of transmission rate to one for 440 Kbps and 17.8 Mbps for QPSK modulation scheme of 64-QAM, this allows to have differentiated services while serving a considerable number of users thus defining levels of service quality.

ISDB-T is a robust standard in its breadth enabling a data transfer as many phones as portable in an effective way and a little cheaper, this would allow so that in Nicaragua can be enjoyed comfortably on devices and electronic equipment with improved interface audio and video, in turn improving safety in the event of natural disasters, among other applications.



## RESUMEN.

La televisión digital terrestre es una entera realidad en países desarrollados, convirtiéndose no solo en un medio para poder transmitir el servicio de televisión a distintos niveles de calidad y definición, sino que además de esto ya es posible llevar internet hasta la última milla, convirtiéndose en una plataforma para múltiples aplicaciones que desbordan un abanico de oportunidades y desarrollo, tal es el caso de sistemas de alerta de emergencia, lo cual permite desplazar sistemas de información y comunicaciones direccionados a poder atender riesgos provocados por desastres naturales considerando que esto podría ser antes y después del evento.

Actualmente existen múltiples estándares de televisión digital terrestre, sin embargo desde la perspectiva de este trabajo (con un enfoque meramente técnico) el estándar ISDB-T es el que técnicamente más se adecúa para el entorno Nicaragüense, debido a sus características, bondades y realidad actual del país.

Para esto se realizó un análisis considerando un escenario ideal basado en el modelo de propagación de espacio libre de manera que mediante el estándar se pueda determinar los niveles de cobertura óptima, considerando esquema de modulación, tasa de transmisión, probabilidad de error (BER), y potencia de transmisión.

Cabe mencionar que el estándar ISDB-T ofrece mediante dos esquemas de modulación dos tipos de tasa de transmisión una para 440 Kbps para QPSK y 17.8 Mbps para el esquema de modulación de 64-QAM, esto permite poder tener servicios diferenciados y a la vez atender a un número considerable de usuarios definiendo así los niveles de calidad del servicio.

ISDB-T es un estándar robusto en su amplitud permitiendo, una transferencia de datos tanto móviles como portátiles de una manera eficaz y un poco más económica, esto permitiría así, que en Nicaragua se pueda gozar cómodamente en dispositivos y aparatos electrónicos con una interfaz mejorada del audio y el video, a su vez perfeccionando la seguridad en caso de los desastres naturales, entre otras aplicaciones.



## LISTA DE FIGURAS.

<i>Figura 3</i>	<i>Resoluciones de Video</i>	18
<i>Figura 3.1</i>	<i>Distribución Mundial de los sistemas de TDT</i>	19
<i>Figura 3.2</i>	<i>Sistema básico ATSC</i>	22
<i>Figura 3.3</i>	<i>Sistema básico DVB-T.</i>	23
<i>Figura 3.4</i>	<i>Sistema básico ISDB-T</i>	25
<i>Figura 3.5</i>	<i>Sistema básico SBTVD</i>	26
<i>Figura 4.</i>	<i>Valor del EbNo para modulación QPSK</i>	29
<i>Figura 4.1</i>	<i>Valor del EbNo para modulación QAM</i>	29
<i>Figura 4.2</i>	<i>Free Space para el estándar SBTVD</i>	33
<i>Figura 4.3</i>	<i>Nivel de cobertura para SBTVD con un BER <math>10^{-3}</math> para QPSK</i>	34
<i>Figura 4.3.1</i>	<i>Nivel de cobertura para SBTVD con un BER <math>10^{-6}</math> para QPSK</i>	34
<i>Figura 4.3.2</i>	<i>Nivel de cobertura para SBTVD con un BER <math>10^{-3}</math> para 64-QAM</i>	35
<i>Figura 4.3.3</i>	<i>Nivel de cobertura para SBTVD con un BER <math>10^{-6}</math> para 64-QAM</i>	35
<i>Figura 4.4</i>	<i>Free Space para el estándar ISDB-T</i>	37
<i>Figura 4.5</i>	<i>Nivel de cobertura para ISDB-T con un BER <math>10^{-3}</math> para QPSK</i>	38
<i>Figura 4.5.1</i>	<i>Nivel de cobertura para ISDB-T con un BER <math>10^{-6}</math> para QPSK</i>	38
<i>Figura 4.5.2</i>	<i>Nivel de cobertura para ISDB-T con un BER <math>10^{-3}</math> para 64-QAM</i>	39
<i>Figura 4.5.3</i>	<i>Nivel de cobertura para ISDB-T con un BER <math>10^{-6}</math> para 64-QAM</i>	39
<i>Figura 4.6</i>	<i>Comportamiento de ISDB-T en función del bit rate y la distancia, en comparación a SBTVD</i>	40
<i>Figura 4.7</i>	<i>Niveles de Bit Rate para ISDB-T a 28, 29, 32, 33 km en función del freespace</i>	41
<i>Figura 4.8</i>	<i>Niveles de Cobertura ISDB-T en el entorno Nacional</i>	42
<i>Figura 5</i>	<i>Estructura del sistema de radiodifusión digital de Japón</i>	44
<i>Figura 5.1</i>	<i>Requerimientos de digitalización</i>	45
<i>Figura 5.2</i>	<i>Requerimientos de digitalización-solución</i>	46
<i>Figura 5.3</i>	<i>A) Ruido + impulso B) Interferencia por multitrayectoria</i>	48
<i>Figura 5.4</i>	<i>Cobertura, recepción en espacio libre</i>	48
<i>Figura 6</i>	<i>Diagrama de bloques de recepción y transmisión del estándar ISDB-T</i>	52
<i>Figura 6.1</i>	<i>Bloque de entrada y BTS</i>	53
<i>Figura 6.2</i>	<i>Espectro de la señal recibida</i>	53
<i>Figura 6.3</i>	<i>Propagación multitrayectoria y transmisores en SFN</i>	54
<i>Figura 6.4</i>	<i>Intervalo de guarda</i>	55
<i>Figura 6.5</i>	<i>Banda segmentada OFDM del sistema ISDB-T</i>	56
<i>Figura 6.6</i>	<i>Estructura segmentada y recepción parcial</i>	57
<i>Figura 6.7</i>	<i>Transmisión jerárquica</i>	59
<i>Figura 6.8</i>	<i>Transmisión de grupos múltiples</i>	60
<i>Figura 6.9</i>	<i>Comparación de topologías entre MFN y SFN</i>	61
<i>Figura 6.10</i>	<i>Paquete MIP</i>	62
<i>Figura 6.11</i>	<i>Escenario de interferencia de la red SFN</i>	63
<i>Figura 6.12</i>	<i>Diagrama de bloques del anulador CLI</i>	65
<i>Figura 6.13</i>	<i>Arreglo de antenas adaptativas</i>	65



## LISTA DE TABLAS.

<i>Tabla 3.1 Características de formatos TDT</i>	17
<i>Tabla 3.2 Distribución Mundial de los sistemas de televisión digital terrestre</i>	19
<i>Tabla 3.3 Transmisión terrestre para la televisión digital en los países de Latinoamérica</i>	21
<i>Tabla 4.1 Parámetros de operación de los estándares</i>	27
<i>Tabla 4.2 RSL para ISDB-T (Rb= 440 Kbps) y SBTVD (RB= 220kbps)</i>	31
<i>Tabla 4.2.1 RSL para DVB-T (Rb= 17.56 Mbps) y DTMB (Rb= 8 Mbps)</i>	31
<i>Tabla 4.2.2 RSL para ISDB-T (Rb= 17.8 Mbps) y SBTVD (Rb= 8 Mbps)</i>	31
<i>Tabla 4.4.1 FSL para SBTVD</i>	32
<i>Tabla 4.4.2 FSL para ISDB-T</i>	36
<i>Tabla 5.1 Servicios de Radiodifusión de los estándares de TDT</i>	42
<i>Tabla 5.2 Resumen de las pruebas realizadas por Brasil</i>	48
<i>Tabla 6.4 Parámetros de ISDB-T con 6MHz</i>	57
<i>Tabla 6.5 Tecnologías de compensación SFN</i>	63



## LISTA DE ACRÓNIMOS.

ATSC= Advanced Television System Committee (Comité de Sistemas de Televisión Avanzada).

BER= Bits Error Rate (tasa de error por bit).

BST= Band Segmented Transmission (Transmisión de Banda Segmentada).

BTS= Broadcasting Transport Stream (Difusión de Flujo de Transporte).

CLI= Interferencia en el Bucle de Acoplamiento.

COFDM= Codex Orthogonal Frequency Division Multiplexing (Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal Codificada).

DTMB= Digital Terrestrial Multimedia Broadcasting (Radiodifusión de Multimedia Digital Terrestre).

DTTB= Digital Television Terrestrial Broadcasting.

DVB-T= Digital Video Broadcasting-Terrestrial (Radiodifusión de Video Digital - Terrestre).

$E_b/N_0$ = Energy Bits/Noise (Energía por Bits/Densidad de ruido).

EPG= Electronic Program Guide (Guía Electrónica de Programa).

EWS= Sistema de Banda Ancha de Atención de Emergencia.

FFT= Fast Fourier Transformed (Transformada Rápida de Fourier).

FSL= Free Space Loss (Pérdida por Espacio Libre).

HDTV= High Definition Television (Televisión en Alta Definición).

ICI= Inter Carrier Interferences (Interferencia inter portadora).

IDH= Índice de Desarrollo Humano

ISDB-T= Integrated Services Digital Broadcasting – Terrestrial (Radiodifusión de Servicios Digitales Integrados).

Matlab= Matrix Laboratory (Laboratorio de Matrices).

MFN= Multiple Frequency Network (Red de Frecuencia Múltiple).

MIP= Paquetes de Inicialización de Mega trama.

NTSC= National Television System Committee (Comité de Sistemas de Televisión Nacional).

OFDM= Orthogonal Frequency Division Multiplexing (Multiplexación por División de Frecuencia Ortogonal).

PDA= Personal Digital Assistant (Asistente Personal Digital).

PIRE= Potencia Isotrópica Radiada Equivalente.

QAM= Quadrature Amplitude Modulation (Modulación de Amplitud en Cuadratura)

QPSK= Quadrature Phase Shift Keying (Modulación por desplazamiento de fase en cuadratura).

$R_b$ = Bits Rate (Tasa de Bits).

RSL= Received Signal Level (Nivel de Señal Recibida).

SBTVD= Sistema Brasileño de Televisión Digital.

SDTV= Standard Definition Television (Definición Estándar de Televisión).

**ANALISIS DEL ESTANDAR ISDB-T PARA SER UTILIZADO EN UNA POSIBLE IMPLEMENTACION DE  
LA TELEVISION DIGITAL TERRESTRE EN NICARAGUA.**



SFN= Single Frequency Network (Red de Frecuencia Única).

SRTM= Shuttle Radar Topography Mission (Misión Topográfica Shuttle Radar).

STS= Sincronización Tiempo de Sello.

TDT= Televisión Digital Terrestre (DTV por sus siglas en inglés).

TS= Transport Stream (Flujo de Transporte).

TSP= Transport Stream Packet (Paquete de Flujo de Transporte).



# ANÁLISIS DEL ESTÁNDAR ISDB-T PARA SER UTILIZADO EN UNA POSIBLE IMPLEMENTACIÓN DE LA TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE EN NICARAGUA.



## Tabla de contenido

1.1	INTRODUCCIÓN.....	10
1.2	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	11
1.3	JUSTIFICACIÓN.....	11
1.4	ANTECEDENTES.....	12
1.5	OBJETIVOS.....	13
1.5.1	Objetivo General.....	13
1.5.2	Objetivos específicos.....	13
2	<b>TELEVISIÓN ANALÓGICA .....</b>	<b>14</b>
2.1	ESTÁNDAR ANALÓGICO NTSC.....	14
2.2	DESVENTAJAS DE LA TELEVISIÓN ANALÓGICA.....	14
2.3	TELEVISIÓN DIGITAL.....	15
2.4	FORMAS DE TRANSMISIÓN DE LA TELEVISIÓN DIGITAL.....	15
2.5	TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE.....	16
3	<b>FORMATOS DE LA TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE.....</b>	<b>17</b>
3.1	ESTÁNDARES DE LA TELEVISIÓN DIGITAL TERRESTRE (TDT).....	18
3.2	ESTÁNDAR ATSC (ADVANCED TELEVISION SYSTEMS COMMITTEE).....	22
3.3	ESTÁNDAR DVB-T (DIGITAL VIDEO BROADCASTING-TERRESTRIAL).....	23
3.4	ESTÁNDAR JAPONÉS ISDB-T (INTEGRATED SERVICES DIGITAL BROADCASTING –TERRESTRIAL.....	24
3.5	ESTÁNDAR BRASILEÑO SBTVD (SISTEMA BRASILEÑO DE TELEVISIÓN DIGITAL).....	25
4	<b>PRUEBAS TÉCNICAS COMPARATIVAS.....</b>	<b>27</b>
4.1	VALORES DEL Eb/No PARA QPSK/64-QAM EN FUNCIÓN DE LA PROBABILIDAD DE ERROR.....	27
4.2	CÁLCULO DE LA RSL PARA LOS ESTÁNDARES DE TDT.....	30
4.3	POTENCIA ISOTRÓPICA PIRE.....	31
4.4	COMPARACIÓN TÉCNICA ENTRE SBTVD E ISDB-T.....	32
4.4.1	Pérdidas por Espacio Libre - FSL y distancia óptima para SBTVD.....	32
4.4.2	Pérdida por Espacio Libre - FSL y distancia óptima para ISDB-T.....	36
5	<b>ESTUDIO DEL SISTEMA ISDB-T.....</b>	<b>43</b>
5.1	SISTEMA ISDB-T.....	43
5.1.2	¿QUE ES ISDB-T?.....	44
5.2	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE ISDB-T.....	46
5.3	COMPARACIÓN DE LOS ESTÁNDARES DE TDT REALIZADOS POR BRASIL.....	48
5.4	PRINCIPALES REQUERIMIENTOS PARA EL SISTEMA ISDB-T.....	49
6	<b>TÉCNICAS DE TRANSMISIÓN DEL SISTEMA ISDB-T.....</b>	<b>51</b>
6.1	TRANSMISIÓN Y RECEPCIÓN EN EL SISTEMA ISDB-T.....	51
6.2	SISTEMA DE TRANSMISIÓN ISDB-T.....	56
6.3	CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN ISDB-T.....	57
6.4	PARÁMETROS DEL ISDB-T.....	58
6.5	TRANSMISIÓN JERÁRQUICA EN ISDB-T.....	58
6.5.1	CONCEPTOS DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN JERÁRQUICA.....	58
6.6	RED DE FRECUENCIA ÚNICA – SFN.....	60
6.6.1	Requisitos para la extensión de una red SFN.....	61
6.6.2	Retransmisión de ondas de Radiodifusión.....	63

**ANALISIS DEL ESTANDAR ISDB-T PARA SER UTILIZADO EN UNA POSIBLE IMPLEMENTACION DE  
LA TELEVISION DIGITAL TERRESTRE EN NICARAGUA.**



<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>66</b>
<b>ANEXOS. ....</b>	<b>67</b>
ANEXOS I: CALCULANDO LA POTENCIA MÍNIMA (RSL) PARA CADA ESTÁNDAR.....	67
ANEXOS II: CALCULANDO LA PÉRDIDA POR ESPACIO LIBRE (FSL) PARA LOS ESTÁNDARES SBTVD E ISDB-T.....	72
ANEXOS III: DATASHEET ANTENAS R.V.R MODELO PUHFI EN UHF. ....	75
ANEXOS IV: ¿A CUÁNTOS MBPS PODRÍA TRANSMITIR ISDB-T A 33KM SI A 28KM TRANSMITE 17.8 MBPS?.....	81
<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>



# CAPÍTULO I.

## 1.1 Introducción.

La Televisión es un medio de telecomunicaciones para la transmisión y recepción de imágenes en movimiento y sonido. Puede ser difundida a través de la radio propagación o por redes especializadas de televisión por cable.

La primera vez que apareció algo en una pantalla de televisión fue el 26 de enero de 1926, esto gracias a John Logie Baird protagonista en la invención de la televisión, quien siempre tuvo la idea de transmitir imágenes a través de ondas al igual que se hacía con la radio, este era un proyecto muy ambicioso para su época, pero a pesar de los rechazos Baird demostró en Londres que su sistema funcionaba.

En 1931 comenzaron las primeras emisiones de la televisión electrónica por la empresa estadounidense Radio Corporation of América (RCA) y el primer evento importante transmitido en vivo fueron los juegos olímpicos de 1936.

A partir de entonces a la fecha se ha convertido en un medio imprescindible en el mundo y la sociedad latina no siendo Nicaragua la excepción. Actualmente la mayoría de la población tiene al menos un televisor en sus hogares.

La dimensión tan amplia de este mercado exige una pronta evolución a la tecnología empleada en el servicio de la televisión actual en Nicaragua; No<sup>1</sup> existe otra opción tecnológica que dar el salto a la televisión digital, ya que la tendencia mundial se encamina en esa dirección.

Desde el punto de vista técnico, los transmisores análogos serán obsoletos, esto debido a que los diferentes repuestos y accesorios dejarán de fabricarse, haciendo imposible la subsistencia de la televisión analógica.

En las últimas décadas del siglo XX, el desarrollo de las tecnologías creadas para la transmisión de información ha sido visible, en el caso de la televisión terrestre siempre se ha buscado la forma de obtener un mejor aprovechamiento del espectro radioeléctrico que se le atribuye. La televisión digital es esta revolución necesaria de la televisión analógica que se propaga y difunde en Nicaragua.

La televisión digital terrestre evoluciona la televisión actual transformándola de analógica a digital, a los televidentes se les ofrecerá un mayor contenido con calidad de imagen y sonido superior, alta definición y nuevos servicios interactivos avanzados para disfrutar.

---

<sup>1</sup> <http://www.confidencial.com.ni/articulo/1632/nicaragua-coquetea-con-la-tv-digital>



Tres son los estándares de televisión digital que compiten en el mundo, el primero de estos nace en los Estados Unidos, el estándar ATSC (Advanced Television Systems Committee) que tiene como rivales al estándar Europeo DVB-T (Digital Video Broadcasting – Terrestrial) y el Japonés ISDB-T (Integrated Service Digital Broadcasting - Terrestrial)

Países de América Latina entre ellos Brasil y Ecuador, ya han puesto en marcha el proyecto de migración análogo a digital, pero para llevar a cabo esta transición se debe de realizar un análisis comparativo entre los diferentes estándares de Televisión Digital Terrestre (TDT) existentes, con el fin de determinar cuál es el más óptimo y conveniente para el país. En este sentido dentro de este trabajo se pretende presentar la ventaja del estándar ISDB-T (Integrated Services Digital Broadcasting para TV); considerando que otros países de América latina ya tienen previas experiencias con este estándar.

## 1.2 Planteamiento del problema.

La principal problemática en torno al tema de la televisión digital terrestre en Nicaragua es la definición de las principales barreras de entrada relacionadas a aspectos legales, técnicos y meramente económicos. Una posible transición de la TV analógica a la digital podría ser un tema muy discutible por aspectos de necesitar tecnología compatible al nuevo estándar y apertura por la operadoras de tv actuales, sin embargo esto produciría un dividendo digital que vendría a beneficiar en gran manera las redes móviles en nuestro país.

## 1.3 Justificación.

En Nicaragua no existe televisión digital, siendo la propuesta analógica la que se impone hasta este momento, sin embargo existe la pronta necesidad de mejorar y optimizar los recursos espectrales, así como la masificación de los servicios de telecomunicaciones cuando Nicaragua se abre pasos de manera inminente a lo que se denomina la sociedad de la información, para esto es necesario considerar que la televisión digital es una opción muy adecuada y con vasta experiencia en otros países de américa latina. En este sentido, la TDT en Nicaragua se definirá luego de los estudios para la adecuada adopción del sistema apropiado para el país, mediante investigación, análisis, presupuesto y colaboración de identidades internacionales. Es importante resaltar que en este país Centro Americano existen pocos estudios referenciales relacionados a la migración de la televisión analógica a su presentación digital.



## 1.4 Antecedentes.

En Nicaragua la televisión nace el 15 de julio de 1956. Las pocas personas que tenían el privilegio de tener un receptor de imagen en sus casas (menos de cien) pudieron captar la transmisión de la primera televisora de Nicaragua. Ese día se convertiría en uno de los más importantes en la historia de los medios de comunicación, puesto que da origen a la televisión en el país.

Televisión de Nicaragua S.A. o Canal 8 es la primera televisora en instalarse en el país, propiedad de Anastasio Somoza Debayle, quien se encontraba en el poder en ese entonces. 9 años después el 12 de julio de 1965, Televicentro, Canal 2, adquiere licencia para operar y se convierte en la segunda estación televisiva del país. La tercera licencia se le asignó el 12 de agosto de 1965 a Televisión Comercial, Canal 12.

Posteriormente la televisión analógica tuvo un paso importante y evolucionó presentando adelantos como el cambio a la televisión a colores y variedad de televisores en diseños y tamaño con mejoras como pantalla y sonido envolvente.

En la actualidad existen 15 canales de televisión que emiten sus señales, los canales: 2,4,6,8,10,12,13,14,15,17,19,21,37,39 y 23 con programación variada de lunes a domingo de 6.00 a.m. a 12.00 p.m.

Existe una transformación en lo que respecta a la tecnología digital y el efecto que causa en la sociedad con un mercado muy extenso incluso en la televisión. Un sistema de transmisión digital otorga muchas más opciones que la televisión analógica. La televisión digital ofrece nitidez, mayor número de canales con mejores alternativas e interactividad con el usuario, el medio de comunicación será capaz de conocer con exactitud cuántas personas están sintonizando su frecuencia de difusión. La única televisora que posee un transmisor con tecnología digital en el país es el canal 100% Noticias que a pesar de esto se encuentra transmitiendo bajo el formato analógico.

Nicaragua ya adoptó en el año 2010 el estándar brasileño-japonés ISDB-T, que ha tenido gran aceptación en los países latinos que también pretenden actualizar sus sistemas de transmisión de televisión terrestre para llevar a cabo el llamado apagón analógico. A pesar de lo cual aún no se ha dado a conocer la fecha exacta para la iniciación del proyecto de transición de la televisión analógica-digital, por parte del ente regulador del país, TELCOR.



## **1.5 Objetivos.**

### **1.5.1 Objetivo General.**

Determinar la viabilidad de adoptar el sistema de Televisión Digital Terrestre ISDB-T, su implementación y estructura del sistema ISDB-T, aplicado en Nicaragua en comparación con cada uno de los principales estándares (ATSC, DVB-T), considerando las experiencias de otros países de América Latina.

### **1.5.2 Objetivos específicos.**

Identificar los diferentes estándares de Televisión Digital Terrestre.

Obtener los niveles de cobertura de los estándares de Televisión Digital Terrestre haciendo uso de la herramienta Radio Mobile.

Describir el sistema ISDB-T para su debida comprensión y adaptación al entorno nacional.

Presentar las técnicas utilizadas para la transmisión del sistema ISDB-T.



## CAPÍTULO II.

### 2 Televisión Analógica

Las emisoras de radiodifusión televisivas nacionales, emiten la propagación de sus señales analógicas a través de estaciones terrestres, haciendo uso de las bandas VHF (Very High Frequency) o UHF (Ultra High Frequency) utilizando la norma NTSC, según se le haya asignado por el ente administrador y regulador de las telecomunicaciones en Nicaragua, TELCOR.

En este sistema de televisión los parámetros de audio y video se representan mediante magnitudes analógicas de una señal eléctrica, que utiliza muchos recursos espectrales por su naturaleza analógica.

#### 2.1 Estándar Analógico NTSC.

El estándar NTSC es un sistema de codificación y transmisión de televisión analógica en color. Es una ampliación modificada del sistema blanco y negro, que consiste en la emisión de 30 imágenes por segundo y que define la señal de video en modo entrelazado dividido en 60 Hz, es decir, 30 cuadros por segundo. Cada cuadro contiene 525 líneas horizontales y puede contener más de 16 millones de colores.

El estándar NTSC es incompatible con los demás estándares de televisión. De todas maneras pueden insertarse adaptadores de video (*video adapters*) para convertir señales NTSC a otras señales de video.

#### 2.2 Desventajas de la Televisión Analógica.

A continuación se describen algunas de las desventajas de la televisión analógica con respecto a su par digital:

- Calidad inferior en audio y video.
- Multi-trayectoria, esto se refiere a doble imagen debido a la distancia del receptor de la antena transmisora e interferencia ocasionada por obstáculos (árboles, edificios).
- Cambio de frecuencia de onda debido al movimiento, denominado efecto Doler.
- Picos irregulares de corta duración o pulsos no continuos debido a agentes externos como electrodomésticos.
- Efecto lluvia debido a niveles mínimos de relación señal-ruido. Interferencia de canal inmediato.
- Desperdicio de recursos (espectro radioeléctrico e infraestructura).



## 2.3 Televisión Digital

La televisión digital se refiere al conjunto de tecnologías de transmisión y recepción de imagen y sonido a través de señales digitales. Es un proyecto que inició en los años 90 naciendo lo que se llama la televisión digital terrestre que pretendió unificar los sistemas de transmisión en todo el mundo.

Una ventaja del nacimiento de la televisión digital<sup>2</sup> es el tipo de señal la cual es muy robusta a las interferencias y las normas de emisión están concebidas para una buena recepción. A esto se añade una serie de servicios extras que se convierten en un incentivo para los usuarios por su calidad y su facilidad de uso.

## 2.4 Formas de Transmisión de la Televisión Digital.

La televisión digital nace con el fin de poder transmitir de manera óptima imágenes y sonidos con la mejor calidad ofreciendo de este modo muchos servicios interactivos y de acceso a información. A una señal analógica la digitaliza un conversor analógico/digital, el mismo que comprime la señal, la almacena y la transporta utilizando un mínimo de recursos sin degradar la calidad de video ni sonido. Existen diferentes formas de televisión digital, dependiendo del medio y el modo de transmisión, entre las que se encuentran las siguientes:

- Televisión digital por satélite.
- Televisión digital por cable.
- Televisión digital por ADSL.
- Televisión digital por dispositivos móviles.
- Televisión digital terrestre.

---

<sup>2</sup> <http://www.slideshare.net/sckyscraper/origen-de-la-televisin-10327395>





## 2.5 Televisión Digital Terrestre.

Televisión digital terrestre (DTV, por sus siglas en inglés) es la transmisión de imágenes en movimiento y su sonido asociado (televisión) mediante una señal digital (codificación binaria) y a través de una red de repetidores terrestres.

La información digital codificada proporciona varias ventajas, entre ellas cabe destacar la posibilidad de comprimir la señal y un uso más eficiente del espectro radioeléctrico. Gracias a su multiplexación, se pueden emitir más canales que en sistema analógico, dicho sistema digital pasa a denominarse "programas digitales" en el espacio, denominado ahora "canal múltiple digital" o "múltiplex". El número de programas transmitidos en cada canal múltiple dependerá de la relación (ratio) de compresión empleado. Por otro lado, se puede dedicar el espectro sobrante para otros usos. La compresión también ha hecho viable la emisión de señales de televisión en alta definición (High Definition), que requieren un ancho de banda mayor que la de definición estándar.

Es importante manifestar que la señal digital no es más robusta que la analógica, es decir, no es más resistente a posibles interferencias. Ambas son señales electromagnéticas, de la misma naturaleza, y susceptibles de ser distorsionadas por campos eléctricos o magnéticos debido a condiciones meteorológicas, entre otros factores. La diferencia está en la manera de codificar la información. La codificación digital sigue algoritmos lógicos que permiten posteriormente identificar y corregir errores.

La transmisión de TDT se realiza siguiendo los parámetros técnicos establecidos por diferentes estándares tecnológicos. Existen varios y su uso por parte de los estados responde a su capacidad para crear estándares, a su ubicación geográfica y a su pertenencia a la esfera de influencia de los estados creadores de estándares.



## CAPÍTULO III.

### 3 Formatos de la Televisión Digital Terrestre.

Fundamentalmente la televisión digital terrestre utiliza dos formatos que son:

- Alta definición (HDTV, High Definition Television)
- Definición estándar (SDTV, Standard Definition Television)

Estos formatos de transmisión, de diferentes resoluciones, permiten a los productores de televisión crear sub-canales de transmisión. Dichos formatos son:

**Tabla 3.1.** Características de formatos TDT.

	Formato		Medida	Frecuencia(Hz)
<b>Estándar</b>	480i	Entrelazado	720x480 pixeles	30 (60 cuadros por segundo)
	480p	Progresivo	720x480 pixeles	60
	576i	Entrelazado	720x576 pixeles	25 (50 cuadros por segundo)
	576p	Progresivo	720x576 pixeles	50
<b>Mejorado</b>	720p	Progresivo	1280x720 pixeles	60
<b>Alta Definición</b>	1080i	Entrelazado	1920x1080 pixeles	30 (60 cuadros por segundo)
	1080p	Progresivo	1920x1080 pixeles	60

Los formatos 480i, 480p, 576i y 576p, son conocidos como Definición Estándar o SD. Los formatos 720p, 1080i, y 1080p, son conocidos como Alta Definición o HD, aunque para efectos comerciales se ha venido usando el término "FULL HD" para hacer referencia exclusiva a los formatos 1080i, y 1080p. Genéricamente, se habla simplemente de HDTV para referirse a la Televisión en Alta Definición.

Gracias a esta variedad de formatos, por ejemplo, un canal de televisión puede optar por transmitir un solo programa en Alta Definición, o varios programas en definición estándar.

Los formatos para la televisión de definición estándar son de naturaleza analógica y muchas de las características de los sistemas de la televisión digital de definición estándar se deben a la necesidad de ser compatibles con la televisión analógica y en particular, la exploración entrelazada, que es un legado de la televisión analógica.



**Figura 3.** Resoluciones de Video.

En la figura anterior se muestran las diferentes resoluciones de video existentes y que son utilizadas en los diferentes sistemas de visualización.

### 3.1 Estándares de la Televisión Digital Terrestre (TDT).

Para la emisión terrestre de programas digitales se emplean cuatro sistemas diferentes en todo el mundo que compiten entre sí.

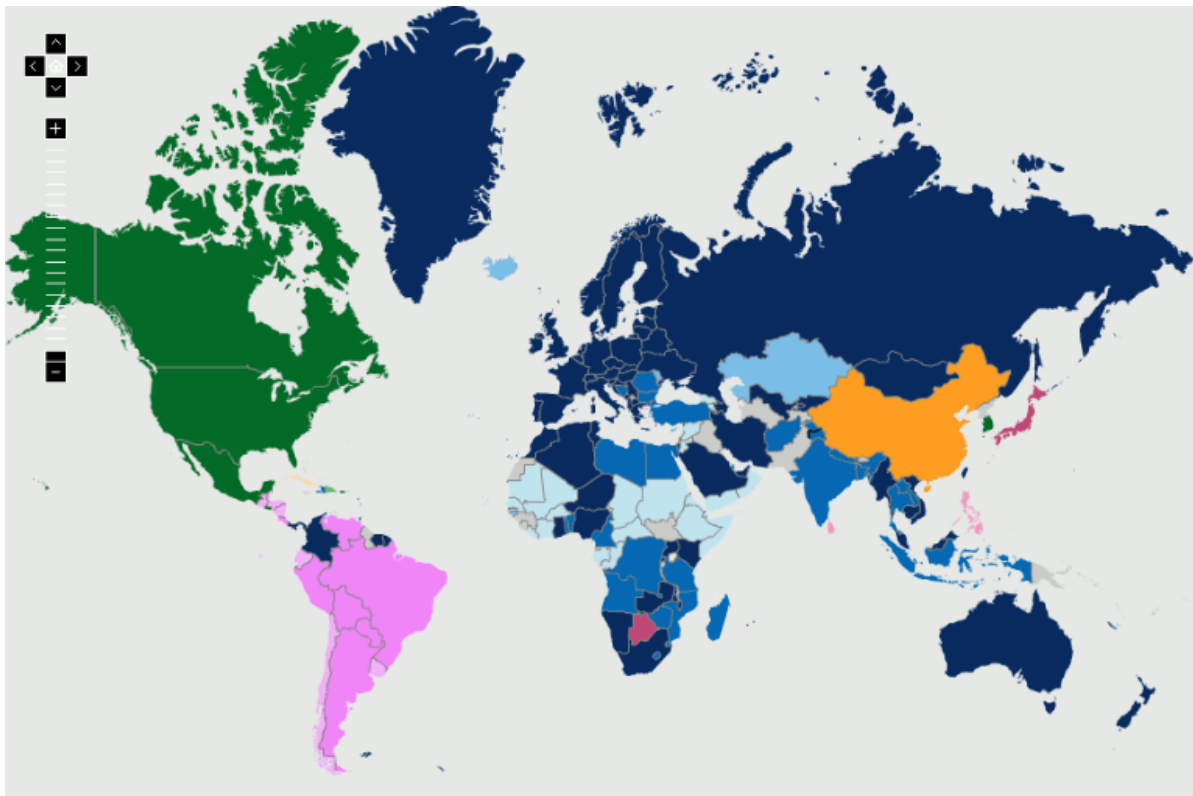
La ARIB (Association of Radio Industries and Businesses) ha estandarizado el sistema ISDB-T (Terrestrial Integrated Services Digital Broadcasting) en Japón.

SBTVD-T (Sistema Brasileiro de Televisão Digital Terrestre) es el sistema de televisión digital terrestre del Brasil. SBTVD-T (ISDB-Tb o ISDB-T International) se basa en ISDB-T.

China (con Hong Kong y Macao) eligió DMB-T/H (Digital Multimedia Broadcasting-Terrestrial/Handheld) como estándar DTV. Ahora conocido como DTMB (Digital Terrestrial Multimedia Broadcast).

En EE. UU. Se ha implantado un sistema estandarizado por el ATSC que utiliza una modulación 8-VSB (8 Level Vestigial Side Band) para la transmisión terrestre.

En Europa, la EBU (European Broadcasting Union), el ETSI (European Telecommunications Standards Institute) y el CENELEC (European Committee for Electrotechnical Standardization) han implantado el proyecto DVB. Para la transmisión terrestre se recurre al estándar DVB-T (Digital Video Broadcasting Terrestrial).



**Figura 3.1** Distribución Mundial de los Sistema de Televisión Digital Terrestre<sup>3</sup>.

La Fig. 3.1, muestra la manera en que están siendo implementados y/o adoptados los diferentes estándares de televisión digital terrestre en todo el mundo, como se describe posteriormente en la tabla 3.2. En donde podemos observar que el estado actual de Nicaragua es la adopción del estándar ISDB-T.

**Tabla 3.2.** Distribución Mundial de los sistemas de Televisión Digital Terrestre.

Sistema	Datos
DVB-T/DVB-T2	La transmisión mediante DVB-T/DVB-T2 ya se ha puesto en práctica.
DVB-T/DVB-T2 adoptado	Países que se han decidido por el sistema DVB-T/DVB-T2.
DVB-T/DVB-T2 en prueba	En estos países, el estándar DVB-T/DVB-T2 está en período de prueba.
RRC06	Los países señalados participan en la Conferencia Regional de Radiocomunicaciones 2006 de la ITU (International Telecommunication Union). Se presupone que todos los países participantes se decidirán por el sistema DVB-T/DVB-T2 cuando pasen de la transmisión analógica de televisión a la digital.
ATSC	La transmisión mediante el sistema ATSC ya se ha puesto en práctica.
ATSC	Países que se han decidido por el sistema ATSC.

<sup>3</sup> Fuente: <http://es.dtvstatus.net/>



adoptado	
ATSC en prueba	En estos países, el estándar ATSC está en período de prueba.
ISDB-T	La transmisión mediante ISDB-T ya se ha puesto en práctica.
ISDB-T adoptado	Países que se han decidido por el sistema ISDB-T.
ISDB-T en prueba	En estos países, el estándar ISDB-T está en período de prueba.
SBTVD-T	La transmisión mediante SBTVD-T ya se ha puesto en práctica.
SBTVD-T adoptado	Países que se han decidido por el sistema SBTVD-T.
DTMB	La transmisión mediante DTMB ya se ha puesto en práctica.
DTMB adoptado	Países que se han decidido por el sistema DTMB.
DTMB en prueba	En estos países, el estándar DTMB está en período de prueba.
Servicio comercial del DVB-T	Ninguna adopción formal de un estándar de TDT.
	Países que aún no se han decidido.

El estado de los países centroamericanos y algunos sudamericanos, según información de la DTV status en relación a la adopción e implementación de la televisión digital terrestre se resume en la tabla 3.3. Y se explica de la siguiente manera:

Formato de la fecha = AAAA/MM/DD\_ [X]

[T] = Fecha de las pruebas

[A] = Fecha de la adopción formal de un estándar de TDT

[D] = Digital Switchover (DSO)

[L] = Lanzamiento de la próxima actualización del estándar de TDT

ASO = Analog Switch-Off



**Tabla 3.3.** Transmisión terrestre para la televisión digital en los países latinoamericanos.<sup>4</sup>

Estados Y Territorios	Estados del Sistema	T-A-D-L	ASO
Costa Rica	SBTVD-T	SBTVD-T: 2010/04/29_A SBTVD-T: 2012/03_D	2018
Guatemala	SBTVD-T adoptado	ATSC: 2006_D SBTVD-T: 2013/05/31_A	2015
Honduras	SBTVD-T adoptado	ATSC: 2007/01/16_A SBTVD-T: 2013/09_A	2017-2022
El Salvador	ATSC	ATSC: 2009/04/22_A ATSC: 2010/02_D	2012-2014
Nicaragua	SBTVD-T adoptado	SBTVD-T: 2010/08/17_A	
Argentina	SBTVD-T	SBTVD-T: 2009/08/28_A	2019
Bolivia	SBTVD-T	SBTVD-T:2010/07/04_A	2024
Brasil	SBTVD-T	SBTVD-T:2006/06/29_A SBTVD-T:2007/12/2_D	2016/04- 2018/11
Chile	SBTVD-T Adoptado	SBRTVD- T:2009/09/14_A SBTVD-T:2010_D	2017
Colombia	DVB-T DVB-T2 Adoptado	DVB-T:2008/08/28_A DVB-T:2010/01/29_D DVB-T2:2011/12/20_A DVB-T2:2013_L	2017-2020
Ecuador	SBTVD-T Adoptado	SBTVD-T:2010/03/06_A	
Paraguay	SBTVD-T	SBTVD-T:2010/06_A SBTVD-T:2011/08/15	
Perú	SBTVD-T	SBTVD-T:2009/04/23_A SBTVD-T:2010/03/30_D	2023
Uruguay	SBTVD-T Adoptado	DVB-T:2007/08/27_A SBTVD-T:2010/12/27_A SBTVD-T:2011-2012_D	2014-2015
Venezuela	SBTVD-T	DVB-T:2007/06_T SBTVD-T:2009/10/06-A SBTVD-T:2011/06_D	2018

<sup>4</sup> Fuente: <http://es.dtvstatus.net/>



### 3.2 Estándar ATSC (Advanced Television Systems Committee).

ATSC<sup>5</sup> (Advanced Television Systems Committee) estándar también conocido como DTV (Digital Television). Fue el primer estándar de televisión digital, adoptado en los Estados Unidos (1996), México (2004), Canadá (1997) y Corea del Sur (1997). Prioriza la alta definición sobre la portabilidad, es capaz de brindar 6 veces mejor calidad en la señal que la televisión analógica actual y mejor calidad de sonido.

Así mismo, permite transmitir señales en definición estándar (similares a la calidad de imagen de la televisión analógica actual), también existe la posibilidad de transmitir varias señales en definición estándar combinadas con una señal en alta definición simultáneamente, es decir, permite la multiplexación de varias señales.

La modulación que utiliza es mono portadora e independiente de fase, para evitar la mayor cantidad de distorsiones. El empaquetamiento permite al video, audio y datos auxiliares separarse en unidades de un tamaño determinado para la corrección de errores lineales, multiplexación del programa, sincronización de tiempo y flexibilidad.

De igual modo, presenta una velocidad de transferencia de datos fija de 19.4 Mbps, permitiendo múltiples formatos de imágenes y velocidades de trama en HDTV y SDTV. Distinguiéndose tres subsistemas bien definidos: Codificación y compresión de fuentes (audio, video, datos), transporte y multiplexación de servicios y modulación.

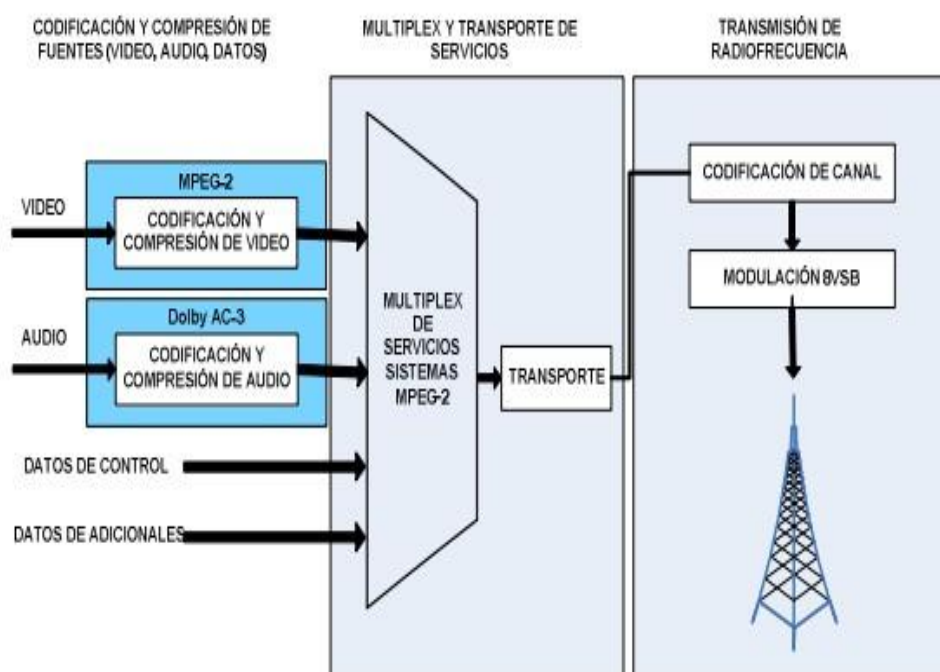


Figura 3.2 Sistema básico ATSC. <sup>6</sup>

<sup>5</sup> <http://personales.unican.es/perezvr/pdf/Estandares%20de%20transmision%20digital.pdf>

<sup>6</sup> <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1159/1/CD-2628.pdf>



### 3.3 Estándar DVB-T (Digital Video Broadcasting-Terrestrial).

DVB-T <sup>7</sup>(Digital Video Broadcasting-Terrestrial) es un sistema de televisión Digital inicialmente europeo, considerado hoy en día un estándar global, no está controlado por ningún país ni empresa, siendo un estándar abierto coordinado por instituciones/empresas, de 35 países.

Este sistema se creó para funcionar en bandas de 8 MHz, pero puede utilizarse con cualquier otro ancho de banda (8, 7 o 6 MHz) con la consiguiente modificación en la capacidad de transmisión de datos.

Fue diseñado con una flexibilidad intrínseca que le permite adaptarse a todos los tipos de canal. Puede soportar elevados niveles de distorsión (hasta 0 dB) por múltiples trayectos dinámicos y estáticos de elevado retardo.

La codificación de canal se la realiza añadiendo suficiente redundancia y protección a la señal para hacerla más robusta y poder corregir los errores.

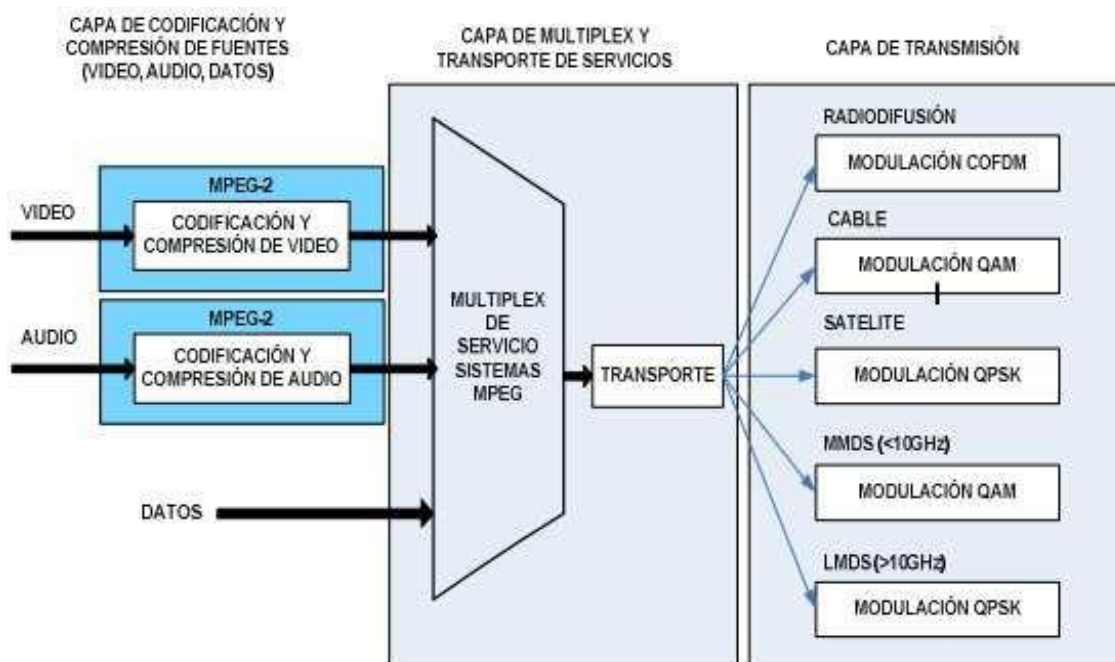


Figura 3.3. Sistema básico DVBT.<sup>8</sup>

<sup>7</sup> <http://www.ieee.org.ar/downloads/2006-dvb.pdf>

<sup>8</sup> <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1159/1/CD-2628.pdf>





Principales características operativas de DVB-T:

El sistema de Difusión de Video Digital -Terrestre (DVB-T) tiene la capacidad de operar en Single Frequency Network (SFN), y esto permite un mejor uso del espectro radioeléctrico, este estándar es ampliamente utilizado en países Europeos, de Oceanía y algunos países económicamente fuertes del continente Africano.

COFDM, sacrifica parte de la velocidad del canal disponible para datos, en la obtención de mejores resultados de imagen cuando la señal se ve afectada por ruido. La protección que COFDM ofrece a los datos, permite que el sistema pueda emitir con la misma frecuencia portadora en toda una región geográfica extensa (cubierta por diversos radioenlaces). El receptor puede discernir entre la señal principal del repartidor más próximo del resto (más débiles) que se pasa a ser ruido y son descartadas

Uno de los principales inconvenientes son los costos de puesta en marcha del sistema, lo que realmente imposibilita a algunas economías llevarlos a su operación, esto desde el punto de vista del operador así como del propio usuario, basado en el principio de economías de escala.

### **3.4 Estándar japonés ISDB-T (Integrated Services Digital Broadcasting – Terrestrial).**

La característica integral de este sistema es que divide la banda de frecuencia de un canal en trece segmentos. La transmisión a terminales portátiles se la realiza mediante el concepto de recepción parcial de un segmento (“1seg”). Cada segmento de datos puede tener su propio esquema de protección (velocidades de codificación del código interno, profundidad del entrelazado temporal) y tipo de modulación.

Cada segmento puede satisfacer distintos requerimientos de servicio. Los segmentos pueden combinarse en un conjunto de forma flexible para proporcionar un servicio de banda amplia. La transmisión jerárquica se consigue transmitiendo grupos de segmentos OFDM con distintos parámetros de transmisión. En un mismo canal terrestre es posible disponer de tres grupos de segmentos diferentes y conseguir la recepción parcial de los servicios incluidos en el canal de transmisión utilizando un receptor de banda estrecha con un ancho de banda tan reducida como la de un segmento OFDM.

El sistema se desarrolló y se probó con canales de 6 MHz, pero su capacidad puede escalarse a cualquier ancho de banda de canal, modificando consecuentemente la capacidad de datos. El sistema fue creado para permitir la recepción fija, portátil o móvil con diferentes velocidades binarias y grados de robustez.

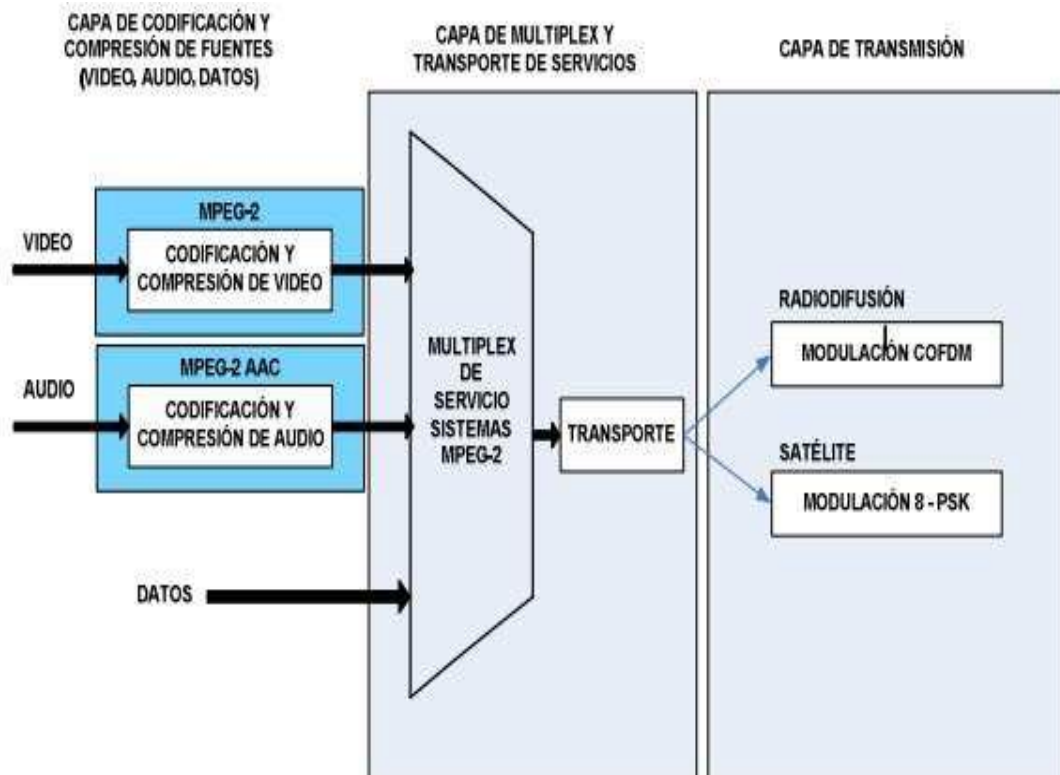


Figura 3.4 Sistema básico ISDB-T.<sup>9</sup>

### 3.5 Estándar brasileño SBTVD (Sistema Brasileño de televisión digital).

Este sistema fue creado en Brasil tomando como base el sistema ISDB-T japonés después de comparar los sistemas de televisión digital existentes. Fue diseñado con la finalidad de permitir la inclusión digital y servir de herramienta para la democratización de la información.

Las mayores diferencias son el uso de tecnologías de compresión de vídeo y audio más avanzadas que las utilizadas en Japón, el *middleware* totalmente innovador y desarrollado en Brasil, y la parte de protección del contenido. Pero la modulación es idéntica en ambos sistemas.

La transmisión digital se la realiza utilizando el Time interleaving para proveer una codificación con la menor tasa de errores para la recepción móvil, el espectro de radiodifusión también consiste en 13 bloques OFDM sucesivos, en el que cada uno ocupa 1/14 del ancho de banda del canal de televisión.

<sup>9</sup> <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1159/1/CD-2628.pdf>

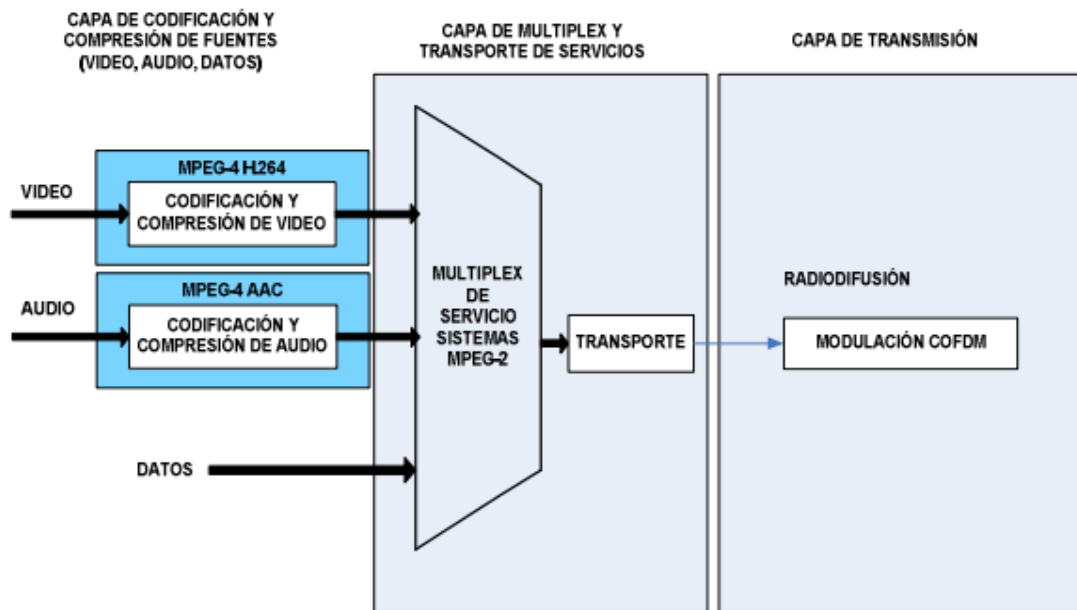


Figura 3.5 Sistema básico SBTVD.<sup>10</sup>

<sup>10</sup> <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1159/1/CD-2628.pdf>



## CAPÍTULO IV.

### 4 Pruebas Técnicas comparativas.

En estas pruebas definimos la potencia y la anchura espectral con las que trabajarían los estándares, las cuales establecimos en una potencia de 500 W y un ancho de banda de 6 MHz.

**Tabla 4.1.** Parámetros de operación de los estándares.<sup>11</sup>

ESTÁNDAR	DVB-T	ISDB-T		SBTV-D		DTMB
TIPO DE SEÑALES	1 HD	1 HD/One Seg		2HD/One Seg		2HD/2 SD
Nº DE PORTADORAS	8K	8K		8K		8K
INTERVALO DE GUARDA	1/16	1/16		1/8		1/9
COMPRESIÓN	MPEG2	MPEG2		MPEG4		MPGE4
ESQUEMA DE MODULACION	64QAM	QPSK	64QAM	QPSK	64QAM	64QAM
FEC	3/4	2/3	3/4	1/2	3/4	3/4
TIME INTERLEAVE	----	0.4 Seg	0.2 Seg	0.4 Seg	0.2 Seg	----
TASA DE TRANSMISIÓN	17.56 Mbps	440 Kbps	17.8 Mbps	220 Kbps	8 Mbps	8Mbps
POTENCIA DE OPERACIÓN	500 W	500 W		500 W		500 W
MARCA TX	BTESA	TOSHIBA		TOSHIBA		BBEF

#### 4.1 Valores del $E_b/N_0$ para los esquemas de modulación QPSK/64-QAM en función de la Probabilidad de Error.

Se elaboró un m-file considerando los esquemas de modulación utilizados por cada estándar de televisión digital terrestre realizando un análisis entre la relación energía de bit y la densidad de ruido todo esto en función de la probabilidad de error de la tasa de transferencia. Este análisis es de suma importancia debido a que al final se quiere demostrar cuál de los estándares se adopta mejor de manera técnica a la orografía, mercado y condición actual en el sentido de la infraestructura existente en Nicaragua. Se presenta en breve, las probabilidades de error para los sistemas de modulación más utilizados en radioenlaces digitales, esto como apartado teórico de nuestro análisis. Es considerable establecer que estos parámetros son para trabajar en condiciones de recepción ideal como el receptor óptimo en función del parámetro normalizado  $w = \frac{E_b}{N_0}$  el cual es la relación energía por bit en función de la densidad de ruido, figura de mérito que nos permitirá conocer la calidad de recepción y la eficiencia espectral de transmisión.

<sup>11</sup> <http://repositorio.ucsg.edu.ec/bitstream/123456789/1731/1/T-UCSG-PRE-TEC-ITEL-41.pdf>



Ahora QPSK es también conocida como 4QAM o en su mejor presentación como 4PSK, este esquema de modulación presenta una probabilidad de error de bit el cual es a su vez la mitad de la probabilidad de error de símbolo de:

$$P_{eb} = \left[ \frac{1}{\sqrt{2\pi t}} * e^{-t^2/2} \right] * \left[ \sqrt{\frac{E_b}{N_0}} \right]; t \geq 7, \quad Ec. 1.$$

$$\text{donde } \frac{1}{\sqrt{2\pi t}} * e^{-t^2/2} \approx \frac{1}{2} * ERFC \left[ \frac{t}{\sqrt{2}} \right]$$

Para el caso del esquema de modulación QAM-64 es posible definir que la probabilidad de error de bit es equivalente a:

$$P_{eb} = \left[ \frac{1}{2*M} \right] * \left[ 1 - \frac{1}{\sqrt{M}} \right] * ERFC \left[ \sqrt{\left[ \frac{3 \log_2 M}{2(M-1)} \right] * \left[ \frac{E_b}{N_0} \right]} \right]; t \geq 7, \quad Ec. 2.$$

Para este caso  $M = 64$ .

Se desarrolló el siguiente m-file en Matlab para plotear los esquemas de modulación QPSK y 64-QAM, de manera que podamos realizar un análisis entre la probabilidad de error del bit en función del EbNo y así conocer su nivel de eficiencia espectral y cuanta potencia de recepción necesitamos para sostener las tasas de datos de transmisión presentadas por cada estándar.

```
function gam()
figure,1;
EbNodB=0:2:21;
EbNo=10.^(EbNodB/10);
k=6;
M=64;
x=sqrt(3*k*EbNo/(M-1));
Pb=(4/k)*(1-1/sqrt(M))*(1/2)*erfc(x/sqrt(2));
semilogy(EbNodB,Pb,'g');
legend('64QAM');
xlabel('Eb/No, dB')
ylabel('Probability Error Rate (Pb)')
title('Pb para Modulación 64-QAM con OFDM para Acceso Para DVB-T, ISDB-T, SBTVD & DTMB')
grid on
figure,2;
EbNodB=0:2:15;
QPSK=erfc(sqrt(10.^(EbNodB/10))*sin(pi/4));
semilogy(EbNodB,QPSK,'m');
legend('QPSK');
xlabel('Eb/No, dB')
ylabel('Probability Error Rate')
title('Pb para Modulación QPSK(4M/4PSK) con OFDM para Acceso Para ISDB-T & SBTVD')
grid on
```



Ahora presentamos los resultados de los planteos para conocer el valor óptimo del  $E_b/N_0$  de cada esquema de modulación en estudio para cada uno de los estándares correspondientes a la televisión digital terrestre.

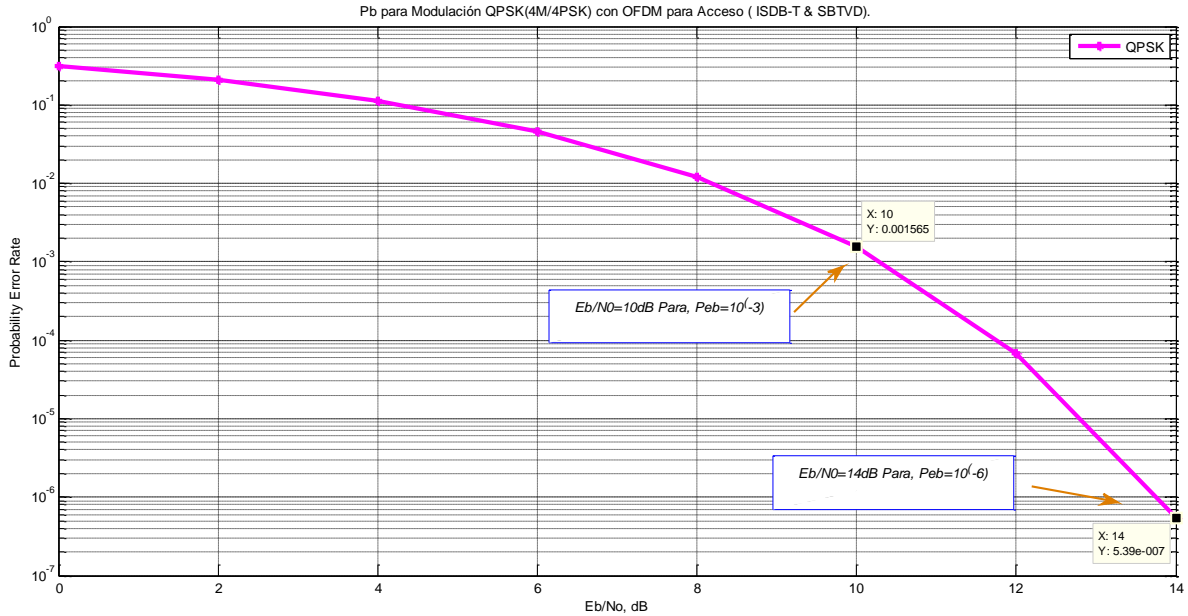


Figura 4. Valor del  $E_b/N_0$  para Modulación QPSK, con  $PER = 10^{-3}/10^{-6}$ .

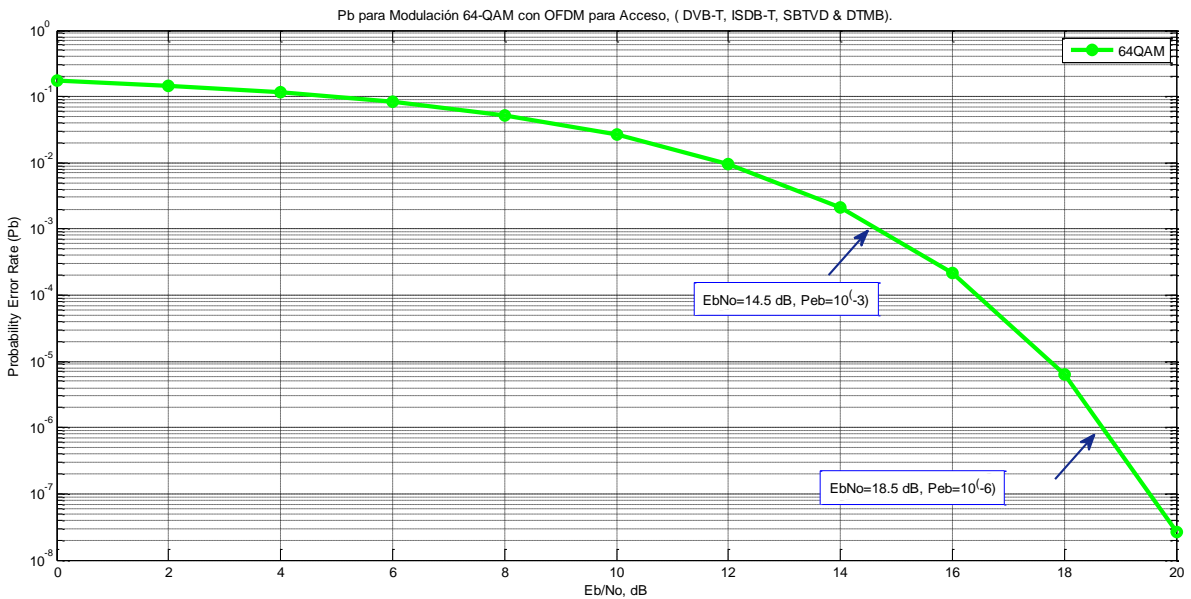


Figura 4.1 Valor del  $E_b/N_0$  para Modulación QAM, con  $PER = 10^{-3}/10^{-6}$ .



## 4.2 Cálculo de la RSL para los estándares de TDT.

Para calcular las áreas de coberturas óptimas para cada estándar es importante determinar la potencia de recepción mínima para cada uno de ellos considerando el  $E_b/N_0$  mínimo para cada esquema de modulación explicado anteriormente. Cabe señalar que por sus características propias de cada esquema (QPSK, 64-QAM) se desarrollan de mejor manera en dependencia del entorno, por ejemplo, el esquema de modulación QPSK por las bajas tasas de transferencias disponibles se puede utilizar para entornos con menor densidad poblacional (Zonas Rurales) en relación a las tasas de transferencias que presenta 64-QAM que puede utilizarse para entornos con mayor densidad poblacional (Zonas Urbanas).

Para su efecto partimos que:

$$\frac{E_b}{N_0} = E_{b\downarrow dBw} + N_{0\downarrow dBw}$$

$$\frac{E_b}{N_0} = R_{SL\downarrow dBw} - 10\log_{10}(\text{Bit Rate}) + 204 \text{ dBw} - N_f \downarrow_{dBw} \quad \text{Ec. 3.}$$

De la ecuación anterior podemos despejar la potencia mínima de recepción.

$$R_{SL\downarrow dBw} = \frac{E_b}{N_0} \text{ dB} + 10\log_{10}(\text{Bit Rate}) - 204 \text{ dBw} + N_f \downarrow_{dBw} \quad \text{Ec. 4.}$$

Los niveles de  $E_b/N_0$  para QPSK y 64-QAM con las respectivas probabilidades de errores encontrados anteriormente (Figura 4 y 4.1), las podemos resumir de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} QPSK &\cong \frac{E_b}{N_0} \leftrightarrow 10^{-3} = 10 \text{ dB} \\ QPSK &\cong \frac{E_b}{N_0} \leftrightarrow 10^{-6} = 14 \text{ dB} \\ 64 \text{ QAM} &\cong \frac{E_b}{N_0} \leftrightarrow 10^{-3} = 14.5 \text{ dB} \\ 64 \text{ QAM} &\cong \frac{E_b}{N_0} \leftrightarrow 10^{-6} = 18.5 \text{ dB} \end{aligned}$$

Ahora podemos calcular la potencia mínima de recepción mediante la ecuación 3 (RSL), para QPSK, con una probabilidad de error  $BER = 10^{-3}$ , aplicado al estándar ISDB-T con una tasa de transferencia  $R_b = 440 \text{ Kbps}$ , para una figura de ruido de  $N_f(\text{dB}) = 8 \text{ dB}$ . Y sumamos 30 al resultado para ver la RSL en dBm.

$$R_{SL\downarrow dBw} = 10 \text{ dB} + 10\log_{10}(\text{Bit Rate } 440000) - 204 \text{ dBw} + 8 + 30$$

$$R_{SL\downarrow dBw} = -99.57 \text{ dBm}$$



Este mismo proceso realizamos al resto de las combinaciones (Ver Anexo I) de modo que en las siguientes tablas presentamos el resultado de las potencias mínimas de recepción requeridas por cada estándar en función de su esquema de modulación y el bit rate (Rb) a transmitir.

**Tabla 4.2.** RSL para ISDB-T (Rb= 440 Kbps) y SBTVD (Rb= 220 Kbps).

Rb= 440 Kbps	Rb= 220 Kbps
ISDB-T ( $10^{-3}$ ) ... QPSK	SBTVD ( $10^{-3}$ )... QPSK
<b>-99.57 dBm</b>	<b>-102.58 dBm</b>
ISDB-T ( $10^{-6}$ ) ... QPSK	SBTVD ( $10^{-6}$ ) ... QPSK
<b>-95.57 dBm</b>	<b>-98.58 dBm</b>

**Tabla 4.2.1.** RSL para DVB-T (Rb= 17.56 Mbps) y DTMB (Rb= 8 Mbps).

Rb= 17.56 Mbps	Rb= 8 Mbps
DVB-T ( $10^{-3}$ ) ... 64QAM	DTMB ( $10^{-3}$ )... 64QAM
<b>-79.05 dBm</b>	<b>-82.47 dBm</b>
DVB-T ( $10^{-6}$ ) ... 64QAM	DTMB ( $10^{-6}$ ) ... 64QAM
<b>-75.055 dBm</b>	<b>-78.47 dBm</b>

**Tabla 4.2.2.** RSL para ISDB-T (Rb= 17.8 Mbps) y SBTVD (Rb= 8 Mbps).

Rb= 17.8 Mbps	Rb= 8 Mbps
ISDB-T ( $10^{-3}$ ) ... 64QAM	SBTVD ( $10^{-3}$ )... 64QAM
<b>-78.99 dBm</b>	<b>-82.47 dBm</b>
ISDB-T ( $10^{-6}$ ) ... 64QAM	SBTVD ( $10^{-6}$ ) ... 64QAM
<b>-74.99 dBm</b>	<b>-78.47 dBm</b>

### 4.3 Potencia Isotrópica PIRE.

Ahora que ya conocemos los niveles de potencia de recepción mínimos para el esquema de modulación que utiliza cada estándar en función del bit rate, procedemos a calcular la potencia isotrópica radiada equivalente, de manera que podamos calcular las pérdidas en espacio libre máxima en dependencia de la potencia de recepción y así conocer los niveles de cobertura por cada estándar. Para este caso la potencia de transmisión será de 500 W, consideraremos las pérdidas entre transmisor y antenas (LLTT) de manera ideal (0 dB) y utilizaremos un arreglo de antenas de 4 números de bahía y 4 paneles por bahía esto para una ganancia de arreglo de antena equivalente a 10.6 dB a 633.25 MHz, el modelo de antena es PUHFI de R.V.R. (Ver Anexos III).

$$PIRE = P_{tx \text{ dBm}} - LLTT + GAx_{Array \text{ dBi}} \quad Ec. 5.$$

$$PIRE = 10 \log_{10} \left( \frac{500W}{1W} \right) + 30$$

$$PIRE = 56.99 \text{ dBm}$$





## 4.4 Comparación Técnica entre SBTVD e ISDB-T.

### 4.4.1 Pérdidas por Espacio Libre - FSL y distancia óptima para SBTVD

El cálculo de las pérdidas por espacio libre se realizará considerando una frecuencia de operación de 633.25 MHz.

$$F_{SL} dB = 32.45 + 20 \log_{10}(D_{Km}) + 20 \log_{10}(F_{MHz}) \quad Ec. 6.$$

Mediante la tabla 4.4.1, presentamos los niveles de pérdidas de espacio libre, la distancia óptima mínima para el estándar SBTVD con  $R_b = 220$  Kbps,  $BER = 10^{-3}$  y  $BER = 10^{-6}$  para un esquema de modulación QPSK. Para el caso de 64-QAM,  $R_b = 8$  Mbps,  $BER = 10^{-3}$  y  $BER = 10^{-6}$ , esto de acuerdo a los resultados obtenidos (Ver Anexos II).

Tabla 4.4.1. FSL para SBTVD.

SBTVD	RSL	FREE-SPACE	DISTANCIA (Km)
QPSK/ $BER=10^{-3}$ /220 Kbps	-102.58 dBm	159.57 dB	110 Km
QPSK/ $BER=10^{-6}$ /220 Kbps	-98.58 dBm	155.57 dB	90 Km
64-QAM/ $BER=10^{-3}$ / 8 Mbps	-82.47 dBm	139.46 dB	40.3 Km
64-QAM/ $BER=10^{-6}$ / 8 Mbps	-78.47 dBm	135.46 dB	33 Km

Ahora desarrollamos en Matlab un m-file en función del free-space encontrado para cada estándar con la ecuación 5 (Ver Anexos II) y trabajando en la frecuencia de operación definida en 633.25 MHz, que nos permite calcular la distancia de manera que podamos conocer cuáles son los niveles de coberturas óptimos para cada uno de los estándares en función del bit rate a transmitir y su esquema de modulación.

```
function freespace()

f = input('Enter carrier frequency(MHz) ');
c = 300;
d = 1:1:170;
Lp = ((4*pi*d*f)/c).^2;
plot(d,10*log(Lp), 'b');
xlabel('x--> D (distance in Km)');
ylabel('y--> Lp (path loss)');
title('Free Space Model Para SBTVD');
grid
hold on

plot ( 110,159.57, 'r*')
plot ( 90,155.57, 'k*')
plot ( 40.3,139.46, 'm.')
plot ( 33,135.46, 'g.')
grid
grid
```

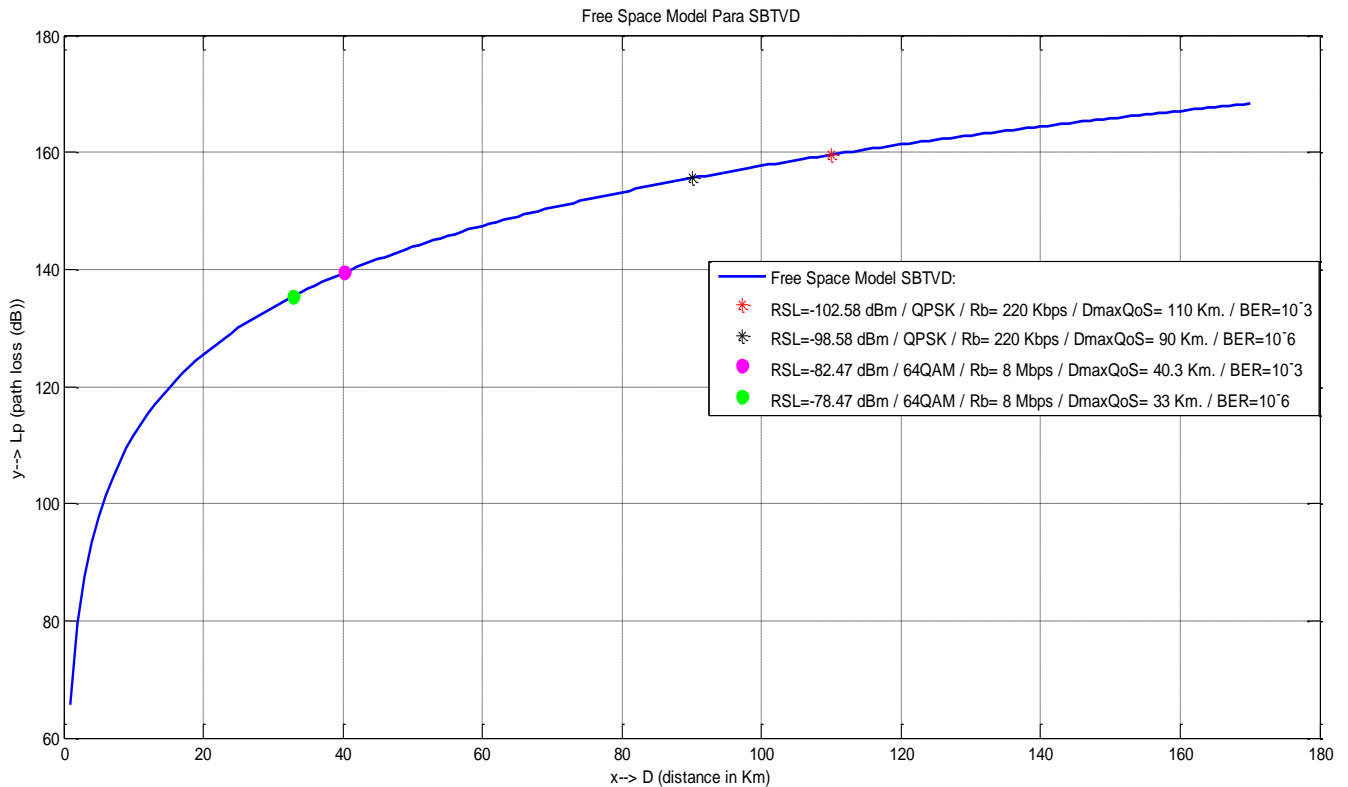


Figura 4.2. Free Space para el estándar SBTVD

Para estos análisis de niveles de cobertura hacemos uso del modelo de propagación por espacio libre, considerando la orografía del terreno Nicaragüense, debido a que en Nicaragua no existen muchas obras verticales y se asemeja al modelo de propagación por espacio libre. Además si hacemos uso de otro modelo de propagación (Okumhuro Hata, Standard Propagation Model) vamos a obtener resultados de niveles de cobertura diferentes pero los análisis serían los mismos, por ejemplo: cuando aplicamos uno de estos modelos al estándar SBTVD obtendríamos restricciones en los niveles de cobertura debido a las diferentes interferencias, pero de igual forma se verían afectados los niveles de cobertura de ISDB-T por lo tanto este análisis es aplicable con el modelo de free-space porque el comportamiento de bit rate en función de la distancia será similar.



#### 4.4.1.2 Cobertura SBTVD con Radio Mobile.

Niveles de cobertura en función de las distancias óptimas encontradas en el ejercicio anterior, para tal efecto hacemos uso de cartografía digital SRTM y Radio Mobile.

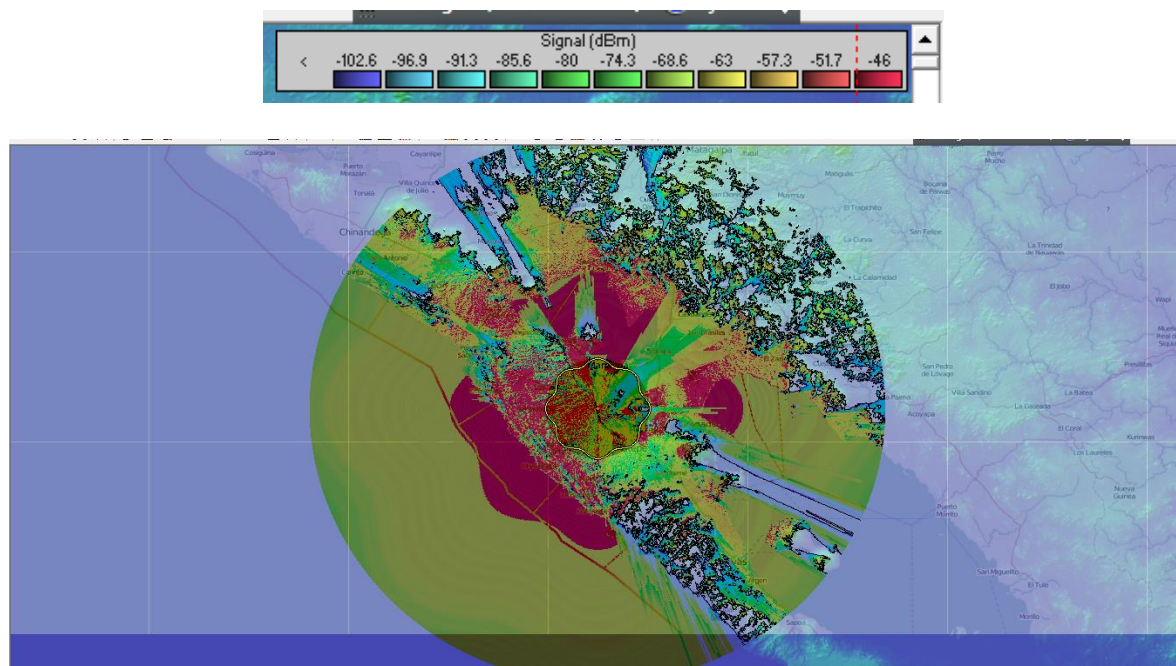


Figura 4.3. SBTVD/  $BER=10^{-3}$ /  $R_b=220\text{Kbps}$ / QPSK /  $RSL=-102.58\text{ dBm}$  /  $D(\text{Km})=110$ .

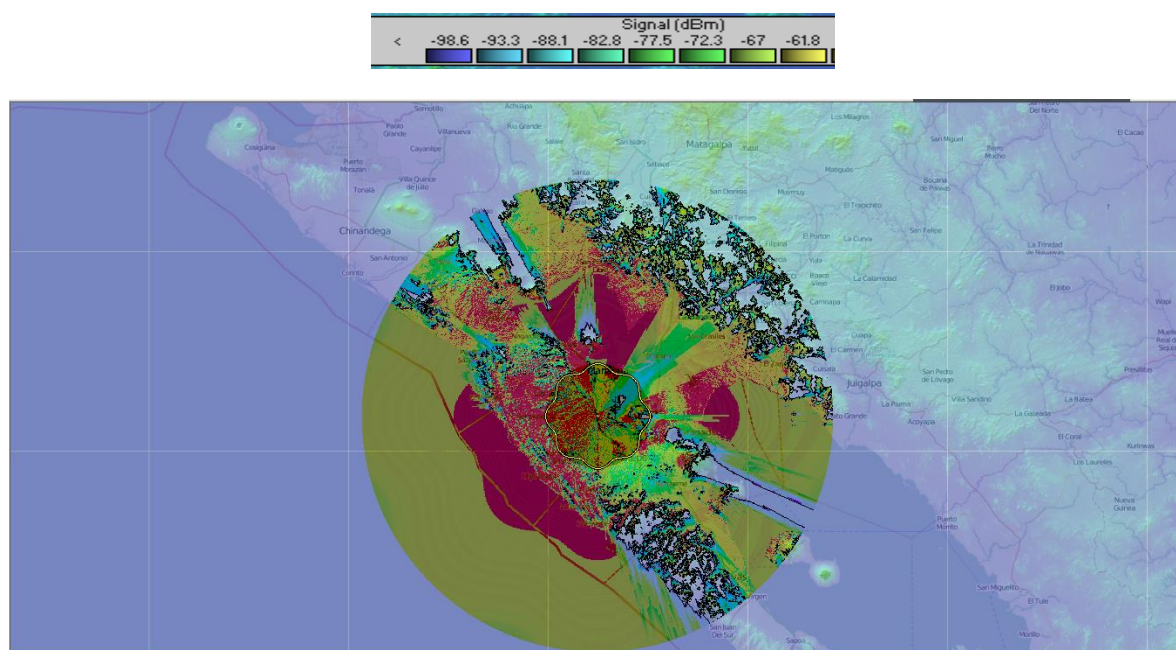
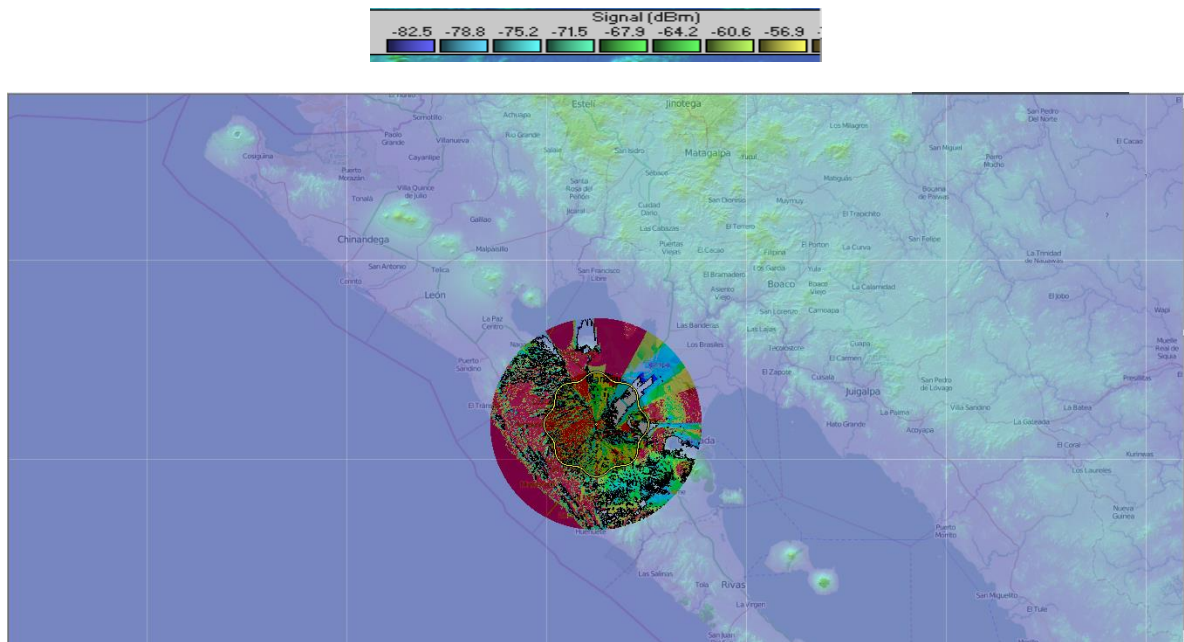
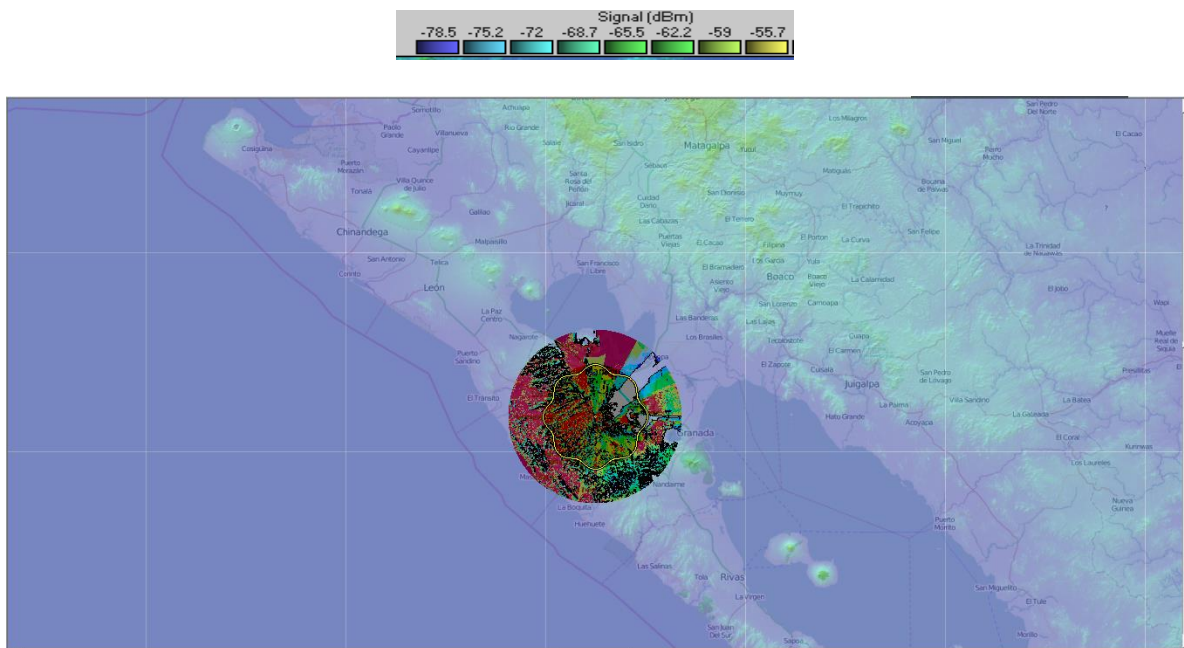


Figura 4.3.1. SBTVD/  $BER=10^{-6}$ /  $R_b=220\text{Kbps}$ / QPSK /  $RSL=-98.58\text{ dBm}$  /  $D(\text{Km})=90$ .



**Figura 4.3.2.** SBTVD/  $BER=10^{-3}$ /  $R_b=8\text{Mbps}$ / 64-QAM /  $RSL=-82.47\text{ dBm}$  /  $D(\text{Km}) = 40.3$ .



**Figura 4.3.3.** SBTVD/  $BER=10^{-6}$ /  $R_b=8\text{Mbps}$ / 64-QAM /  $RSL=-78.47\text{ dBm}$  /  $D(\text{Km}) = 33$

De esta forma podemos observar que para un esquema de modulación menos robusto pero con más capacidad de información los niveles de coberturas son menores a esto debemos sumar el hecho que si mejoramos la calidad de transmisión a través de BER de  $10^{-3}$  a  $10^{-6}$  los niveles de cobertura también tienden a disminuir, así como cuando aumenta el bit rate.





Pero, ¿Porque estamos interesados en los niveles de cobertura?, para una posible migración en Nicaragua el cual es un país con un IDH de 0.614 (Puesto 132), con una economía en construcción y donde los recursos son limitados es de mucha prioridad el reúso de infraestructura, disminución de costos y un alto nivel de calidad del servicio lo cual son figuras de mérito que ayudan a definir niveles de tarifa.

Para el caso del SBTVD posee dos tipos de bit rate uno de 220 Kbps y uno de 8Mbps, esto implica que la cobertura estaría entre 33 a los 90 Km si existiera línea de vista, cuando en algunos casos la orografía del terreno no lo permite.

Vale la pena remarcar que el estándar SBTVD es igual al estándar DTMB explícitamente cuando hablamos de que ambos poseen un bit rate de 8 Mbps y utilizan tipo de modulación 64-QAM.

#### 4.4.2 Pérdida por Espacio Libre - FSL y distancia óptima para ISDB-T.

El mismo proceso se realizó con el estándar ISDB-T del cual los resultados se presentan en la siguiente tabla que refleja: bit rate, BER, esquema de modulación, nivel de RSL, pérdidas de espacio libre y distancia óptima. (Ver Anexo II).

Tabla 4.4.2. FSL para ISDB-T.

ISDB-T	RSL	FREE-SPACE	DISTANCIA (Km)
QPSK/BER=10 <sup>-3</sup> /440 Kbps	-99.57 dBm	156.56 dB	95 Km
QPSK/BER=10 <sup>-6</sup> /440 Kbps	-95.57 dBm	152.56 dB	78 Km
64-QAM/BER=10 <sup>-3</sup> / 17.8 Mbps	-78.99 dBm	135.98 dB	34 Km
64-QAM/BER=10 <sup>-6</sup> / 17.8 Mbps	-74.99 dBm	131. 98 dB	28 Km

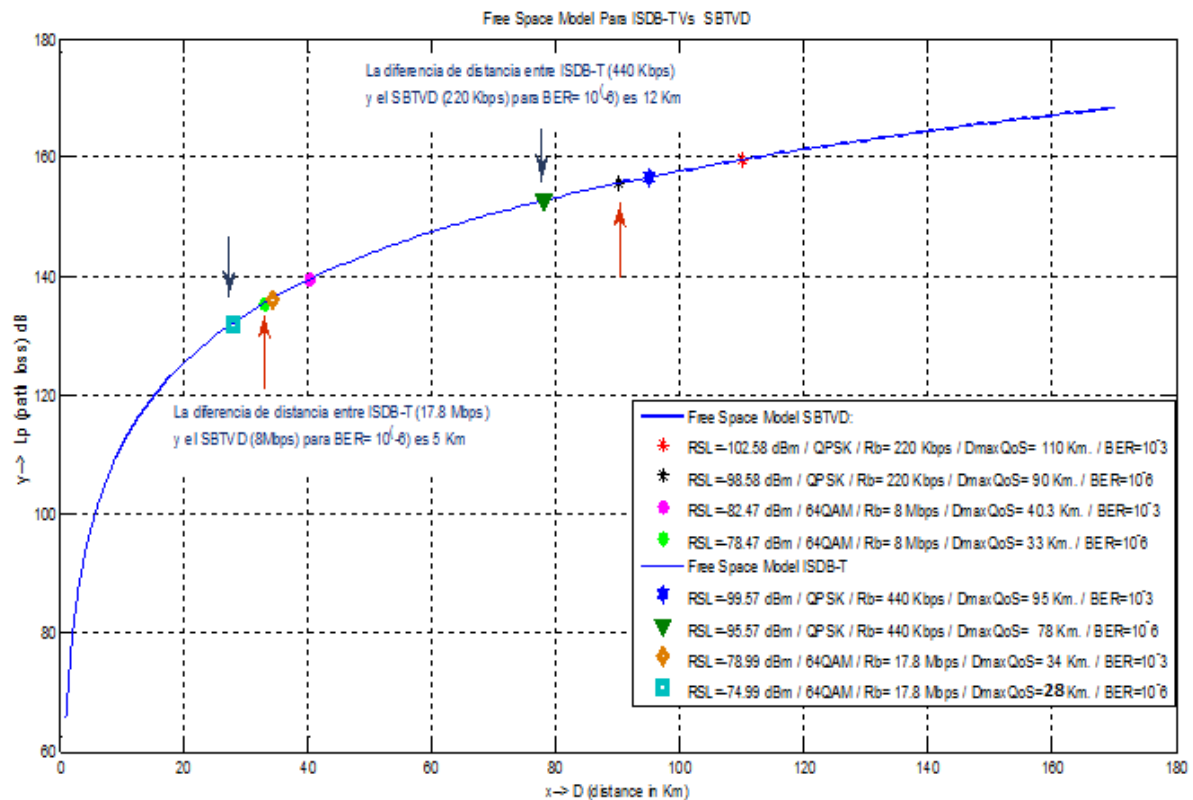


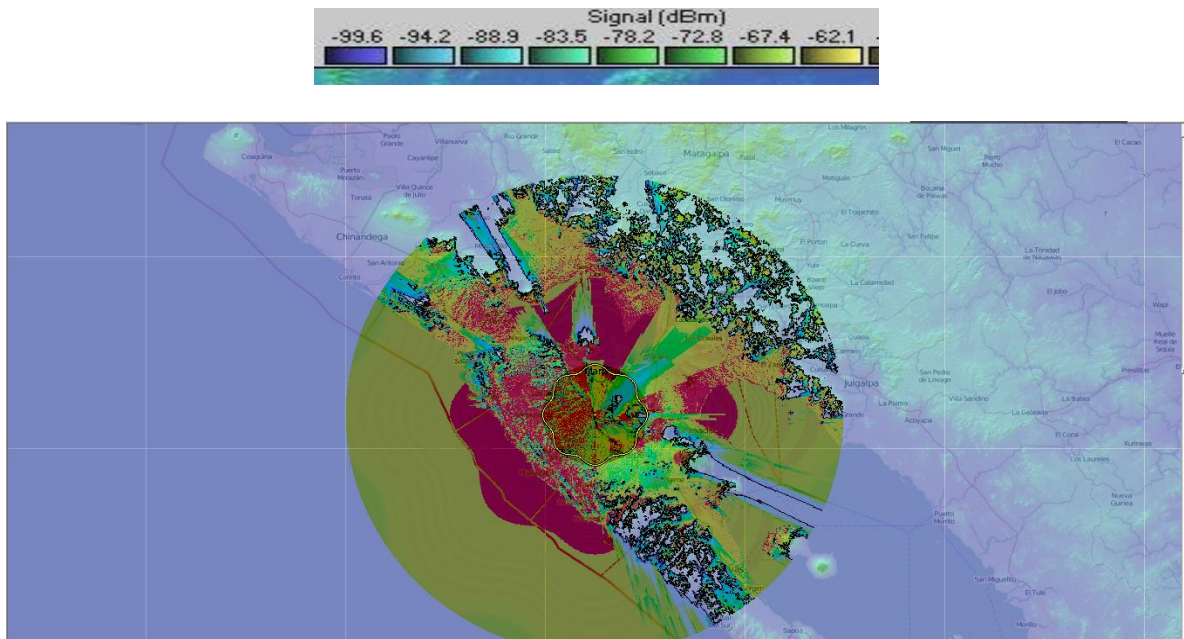
Figura 4.4. Free Space para el estándar ISDB-T.

Como es posible apreciar en la figura anterior el estándar ISDB-T es superior al SBTVD debido a que casi con la misma cobertura el estándar ISDB-T ofrece niveles de bit rate superior comparados con los expuestos por SBTVD, por ejemplo si SBTVD posee un bit rate de 8Mbps, con un BER de  $10^{-6}$ , con un esquema de modulación de 64-QAM vemos que la distancia mínima para poder cumplir con esta condición debe de ser de 33 Km, en cambio, para el caso de ISDB-T con un bit rate de 17.8 Mbps la distancia mínima es de 28Km.

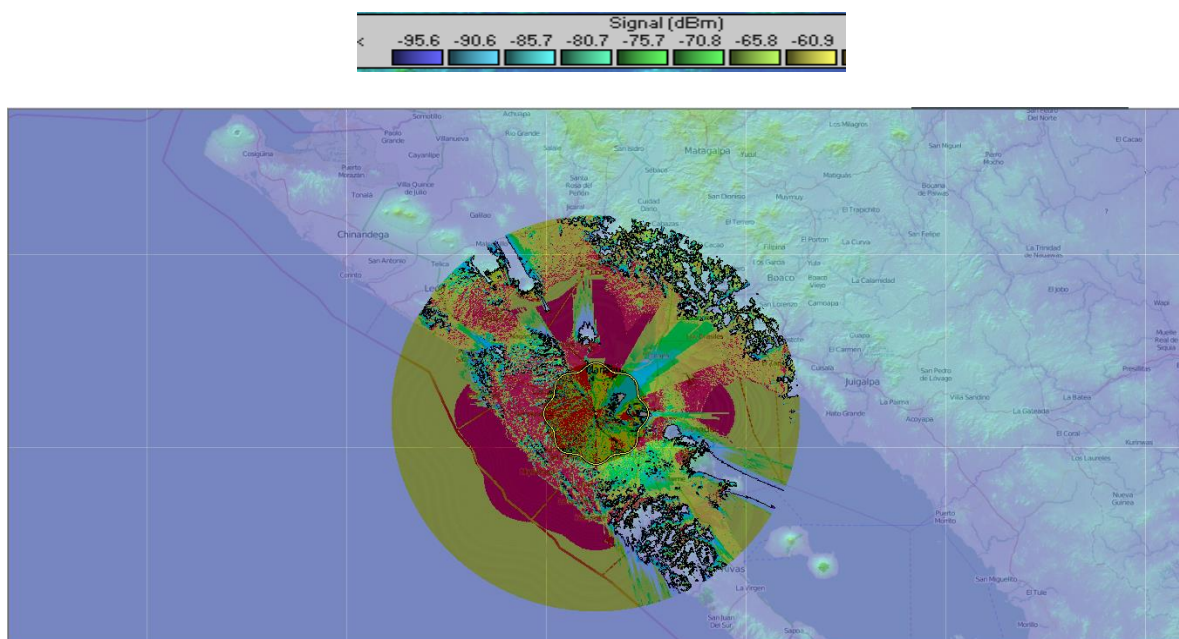
De aquí surge una pregunta y sería: ¿Cuántos Mbps podría transmitir ISDB-T a 33 Km si a 28 Transmite 17.8 Mbps?, esta incógnita valdría la pena responderla de manera que podamos valorar la diversificación y el plus de cada uno de los estándares en cuestión. Ahora no se debe de olvidar que los estándares DTMB con un bit rate único de 8 Mbps puede ser sustituido para el caso de Nicaragua por el SBTVD que aparte de tener un bit rate de 8 Mbps, también puede hacer transmisiones con un segundo bit rate de baja transmisión con valor de 220 Kbps. Por otro lado esta misma circunstancia se presenta cuando comparamos ISDB-T con DVB-T. A continuación es posible observar en las siguientes figuras los niveles de cobertura óptimos para el estándar ISDB-T, según el bit rate estimado considerando esquema de modulación y tasa de bit erróneo transmitido.



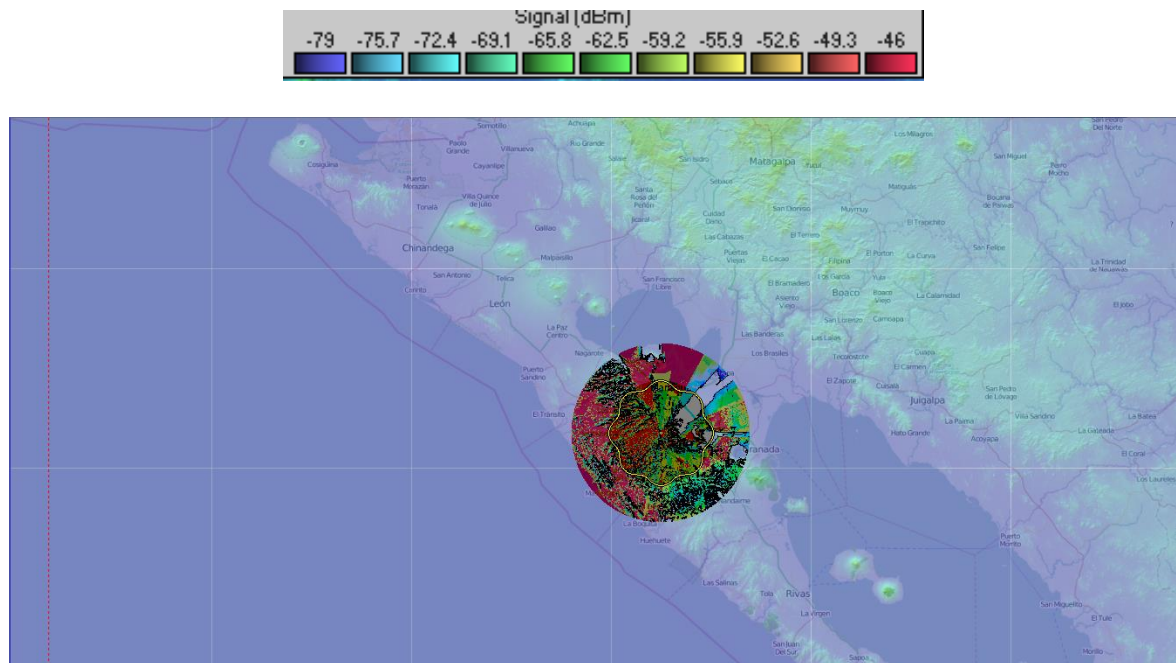
#### 4.4.2.2 Cobertura ISDB-T con Radio Mobile.



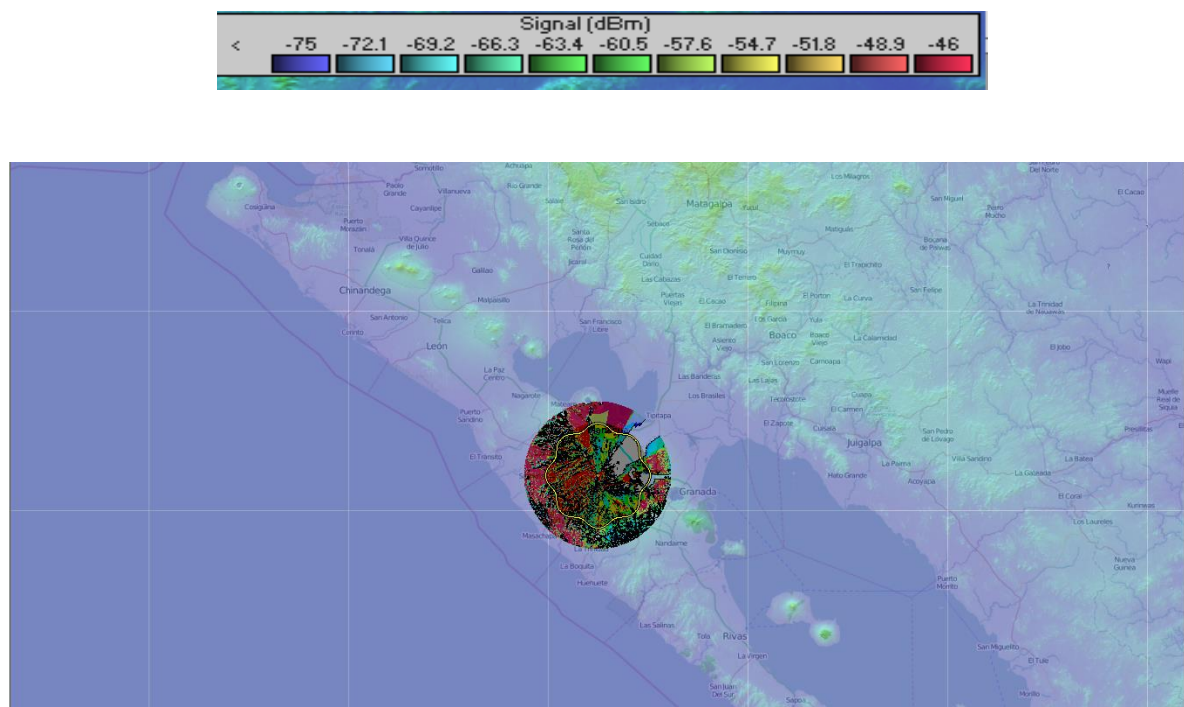
**Figura 4.5.** ISDB-T/  $BER=10^{-3}$ /  $R_b=440$  Kbps/ QPSK /  $RSL=-99.57$  dBm /  $D(Km)=95$



**Figura 4.5.1.** ISDB-T/  $BER=10^{-6}$ /  $R_b=440$  Kbps/ QPSK /  $RSL=-95.57$  dBm /  $D(Km)=78$



**Figura.4.5.2.** ISDB-T/  $BER=10^{-3}$ /  $R_b=17.8$  Mbps/ 64-QAM /  $RSL=-78.99$  dBm /  $D(Km)=34$



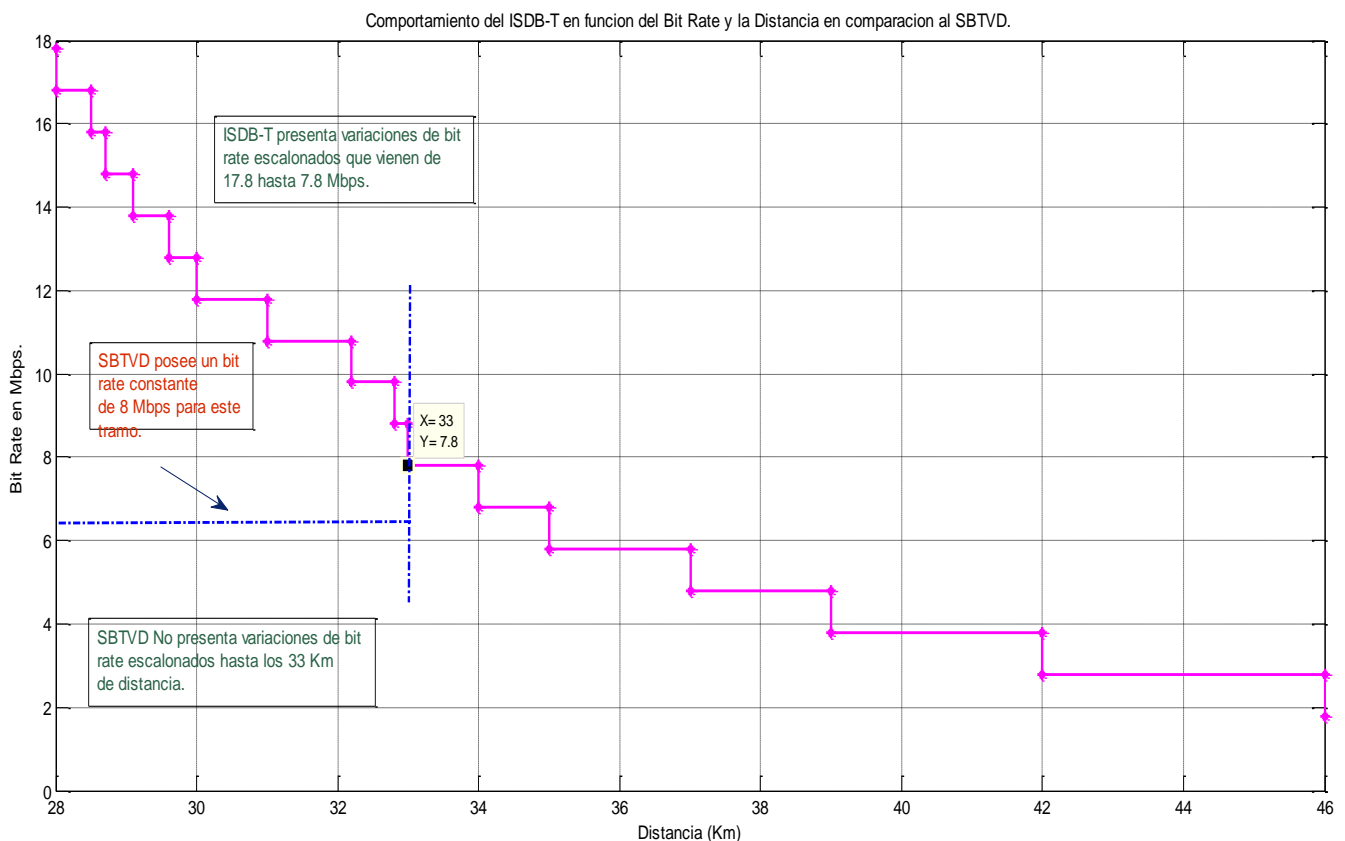
**Figura. 4.5.3.** ISDB-T/  $BER=10^{-6}$ /  $R_b=17.8$  Mbps/ 64-QAM /  $RSL=-74.99$  dBm /  $D(Km)=28$

Hasta ahora se ha visto mediante los análisis realizados en este trabajo de investigación que los estándares más próximos a una posible implementación en Nicaragua serian el ISDB-T y el SBTVD.





Mediante el análisis entre estos dos últimos sistemas se pudo constatar: ISDB-T es más robusto que el SBTVD, anteriormente se realizó la pregunta concerniente a ¿Cuántos Mbps podría transmitir ISDB-T a 33 Km si a 28 Transmite 17.8 Mbps?, esto debido a que SBTVD transmite 8 Mbps y en 33 Km cumple tal efecto, para responder a esto se realizó un ploteo en Matlab que nos permita analizar la cobertura en función de los niveles de bit rate (Ver Anexos IV).



**Figura 4.6.** Comportamiento de ISDB-T en función del bit rate y la distancia en comparación a SBTVD.

La figura anterior describe una ventaja de ISDB-T sobre el estándar SBTVD, ya que hasta los 32 Kilómetros de distancia ISDB-T presenta bits superiores a 8 Mbps y en cambio el estándar SBTVD hasta los 33 Kilómetros su bit rate es constante a 8 Mbps. Ahora, a partir de los 33 Km ambos estándares despliegan una tasa de transmisión muy parecida de forma que sustancialmente es ventajoso el estándar ISDB-T considerando niveles de cobertura en función del bit rate y obviamente esto es un dato sumamente valioso para valorar los niveles de calidad de los servicios prestados por la televisión digital.

Para realizar este análisis, alteramos los niveles de Bit Rate en los cálculos de Nivel de Recepción Mínima (RSL) gradualmente a 1Mbps, de esta forma calculamos nuevamente los valores de free-space con el fin de determinar los niveles de cobertura resultantes de las nuevas tasas de transferencias (Ver Anexos IV). En la Figura 4.7 reflejamos los niveles de Bit Rate para coberturas de 28, 29, 32 y 33 Km. El m-file anterior es simplemente una gráfica de escalera que nos permite explicar de mejor manera el comportamiento de los niveles de Bit Rate en función de la distancia.

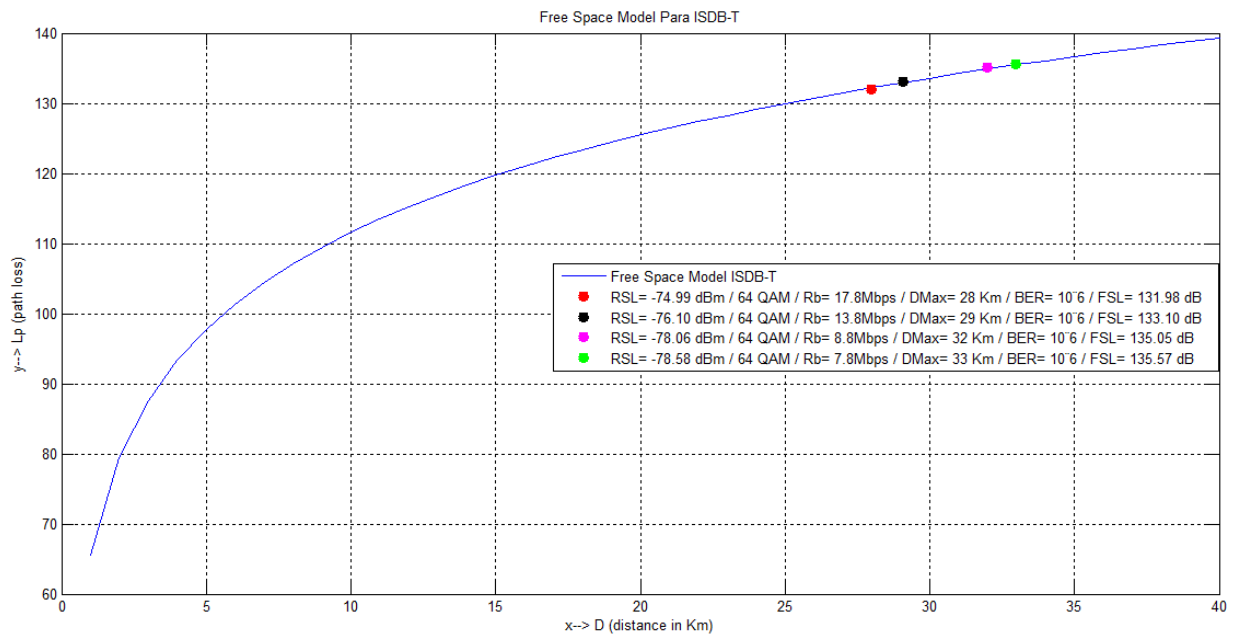


Figura 4.7. Niveles de Bit Rate para ISDB-T a 28, 29, 32 y 33 Kilómetros en función del Free-Space.

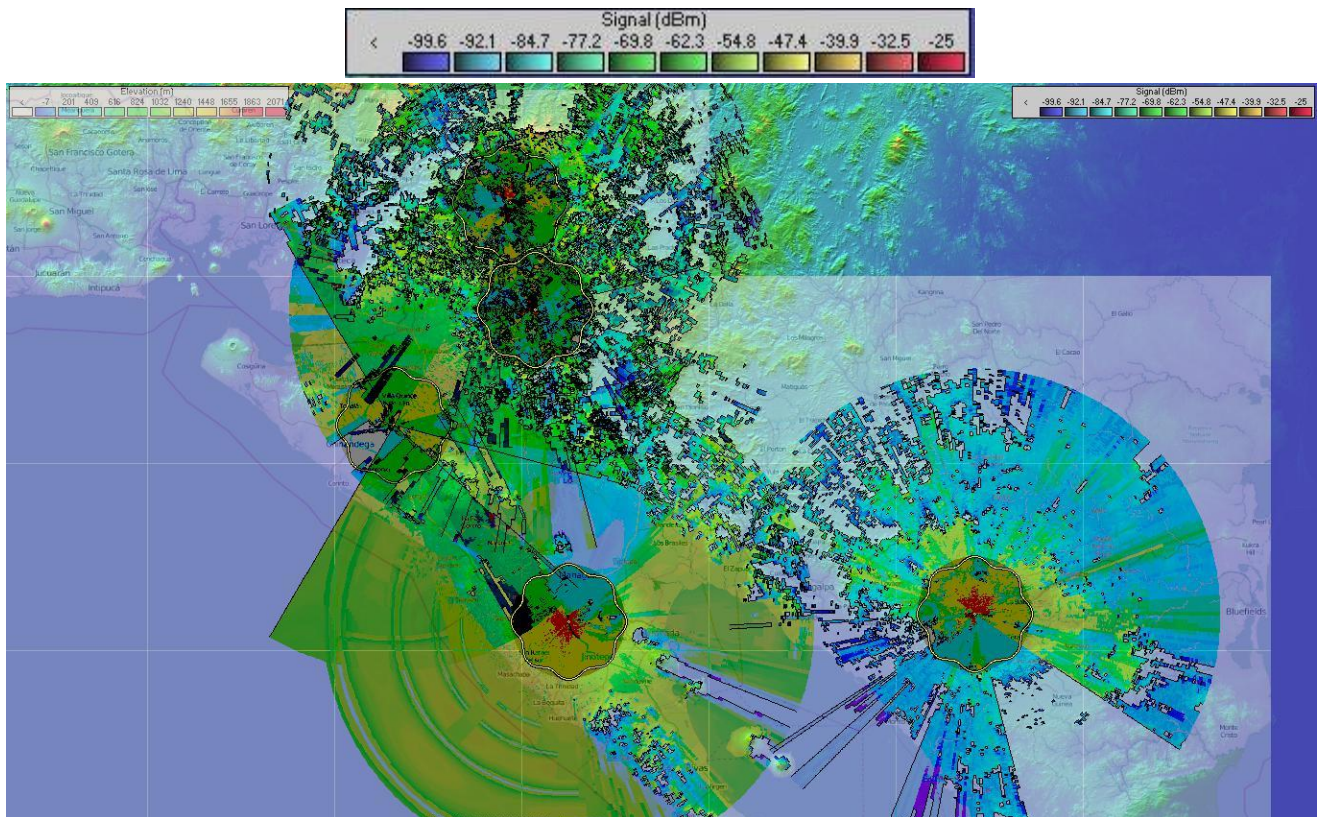
```
function freespace()

f = input('Enter carrier frequency(MHz) ');
c = 300;
d = 1:1:40;
Lp = ((4*pi*d*f)/c).^2;
plot(d,10*log(Lp), 'b');
xlabel('x--> D (distance in Km)');
ylabel('y--> Lp (path loss)');
title('Free Space Model Para ISDB-T');
grid
hold on

plot ( 28,131.98, 'r*')
plot ( 29,133.0912, 'k*')
plot ( 32,135.0452, 'm.')
plot ( 33,135.5691, 'g.')
grid
grid
```



#### 4.4.2.3 Cobertura ISDB-T en el Entorno Nacional con Radio Mobile.



**Figura 4.8.** Niveles de Cobertura ISDB-T/ BER  $10^{-3}$ / Rb= 440Kbps/ QPSK / RSL= -99.57 dBm/ D(Km)= 95.

Para llevar a cabo la simulación en RadioMobile con el fin de presentar los niveles de cobertura para el entorno nacional haciendo uso del modelo de propagación por espacio libre (Free-Space), tomamos en cuenta los puntos de transmisión que se usan frecuentemente para los diferentes sistemas de radio propagación haciendo uso de los más comunes a nivel nacional y los parámetros encontrados durante el desarrollo de nuestra investigación (Para ISDB-T con una tasa de transferencia de 440 Kbps y esquema de modulación QPSK con RSL=-99.57 y su distancia óptima= 95Km).

La ubicación de nuestros transmisores las distribuimos de la siguiente manera:

Casitas, Chinandega: Latitud: 12.6935 Longitud: -86.9642 Elevación: 1182 m.  
 El Crucero, Managua: Latitud: 11.9716 Longitud= -86.3095 Elevación: 885 m.  
 Quiabú, Estelí: Latitud: 13.1166 Longitud: -86.4330 Elevación: 1154 m.  
 Quisuca, Madriz, Somoto: Latitud: 13.5116 Longitud: -86.5295 Elevación: 1185 m.  
 La Gateada: Latitud: 12.0000 Longitud: -84.7833 Elevación: 351 m.

En el caso de Quiabú y Quisuca a pesar de estar muy cercanos, se ubicaron dos transmisores debido a que la zona es un área muy montañosa y para brindar mejor cobertura, en el caso de la RAAN, no encontramos datos acerca de los puntos de Tx, por esta razón dejamos abierto el tema para una posible futura investigación documental.



## CAPÍTULO V.

### 5 Estudio del sistema ISDB-T.

#### 5.1 Sistema ISDB-T.

Difusión Digital de Servicios Integrados, ISDB por sus siglas en inglés (Integrated Services Digital Broadcasting) es el estándar de televisión digital más avanzado internacionalmente, fue desarrollado en Japón y desde su instalación en Diciembre del 2003, ha sido adoptado en varios países de América del Sur como Brasil, adoptado en 2007; Perú, Argentina y/o Chile, adoptados en 2009.

La ARIB (Association of Radio Industries and Businesses), organización voluntaria que congrega una multitud de empresas dedicadas al negocio de producir, financiar, fabricar, importar y exportar productos relacionados con la radiodifusión, es la encargada de regir, crear y mantener los estándares de emisión de la señal audiovisual en el área japonesa. Sin embargo, para el desarrollo final del estándar ISDB, fue necesaria la ayuda del grupo de expertos en radiodifusión japonés, DiBEG (Digital Broadcasting Experts Group).

Este sistema, al igual que la familia DVB, posee diferentes formatos según el canal a transmitir siendo el ISDB-T el que cumpla lo necesario para la difusión terrenal, que adquirirá el nombre de SBTVD para su versión en América del Sur, ambos con la posibilidad de ofrecer servicios multimedia para receptores móviles (vehículos, teléfonos móviles y/o portátiles) gratuitamente gracias al sistema 1Seg. El resto de la familia lo componen el sistema para satélite, ISDB-S, el de vía cable, ISDB-C y un formato para la emisión de sonido digital vía satélite llamado 2.6 GHz Mobile Broadcasting.

ISDB-T es un sistema de emisión superior entre los tres sistemas de TDT con referencia mundial, porque tiene muchas ventajas tales como, "Transmisión OFDM segmentado " y " Time Interleave" etc.

**Tabla 5.1.** Servicio de Radiodifusión de los estándares de TDT.<sup>12</sup>

Elemento	ATSC	DVB-T	ISDB-T
HDTV/SDTV Recepción fija	Si	Si	Si
Radiodifusión de Datos	Posible (Nota1)	Posible (Nota1)	En Servicio
SFN (Single Frequency Network)	No	Si	Si
HDTV Recepción móvil	Imposible	Imposible (Nota2)	Buena
Recepción portátil por celular	Imposible	Posible (Nota 3)	Buena
Acceso a Internet	No bueno	Posible	Bueno

**Nota 1:** Para ATSC y DVB-T, el servicio comercial en sí no es muy popular

**Nota 2:** Para DVB-T, la recepción móvil SDTV es posible.

**Nota 3:** En caso de DVB-T, otra frecuencia se debe exigir para el servicio de recepción portátil

<sup>12</sup> <http://www.dibeg.org/techp/3comp/3comp.html>





Como se muestra en la tabla, la función "transmisión OFDM segmentado" de ISDB-T, permite tanto el servicio de recepción fija como la portátil a través del mismo canal.

### 5.1.2 ¿Que es ISDB-T?

Podemos definir al Integrated Services Digital Broadcasting- Terrestrial (ISDB-T) como un nuevo tipo de sistema de radiodifusión digital para la prestación de servicios de audio, vídeo y multimedia. El sistema ISDB-T fue estandarizado en la Asociación de Industrias y Empresas de Radiocomunicaciones (ARIB, por sus siglas en inglés) en Japón. ISDB-T utiliza un método de modulación denominado Transmisión de banda segmentada (BST) OFDM. En la siguiente figura se presenta de manera gráfica el concepto del ISDB en general.

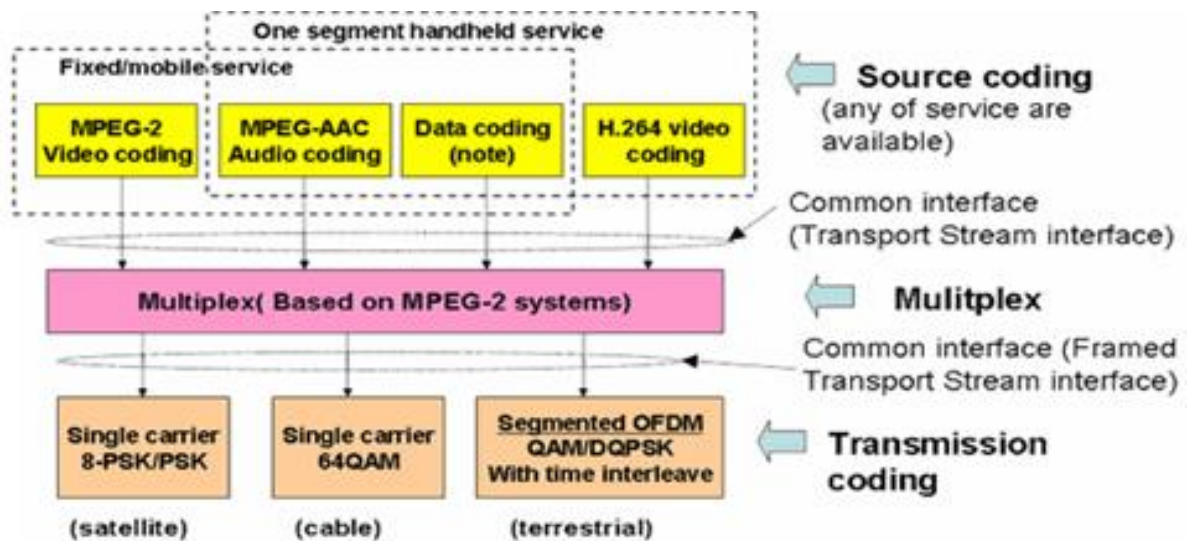


Figura 5. Estructura del sistema de radiodifusión Digital de Japón.<sup>13</sup>

Como se puede observar en la figura anterior desde la definición particular del ISDB en su versión general, este consta de una serie de entradas que pueden ser audio, videos y datos a la vez, sin embargo es necesario que a estas señales de entrada se les realice una codificación a través del MPEG-2 para luego ser multiplexados de manera que estas señales puedan ser transmitidas tanto para comunicación satelital, CATV y como para el caso de este trabajo de investigación la televisión digital terrestre.

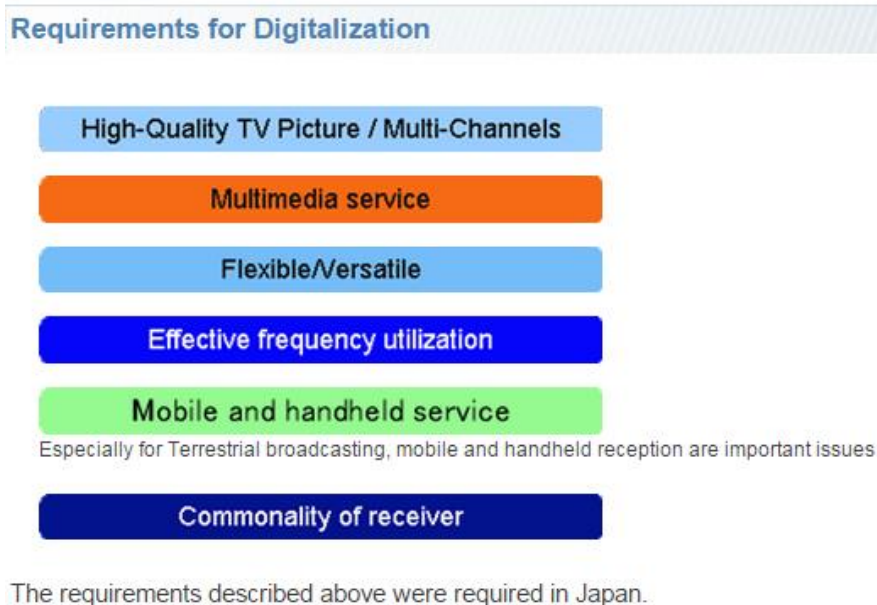
En términos generales, el sistema de radiodifusión digital se compone de 3 bloques funcionales, (1) que codifica Fuente de bloques, (2) bloque multiplex, y (3) del bloque de codificación de transmisión. Como se muestra en la figura 5, "Fuente de codificación" y "Multiplex" son comunes para cualquier medio de radiodifusión digital. Para la "codificación de la transmisión", las diferentes tecnologías de codificación que se adopten (Satélite: 8-PSK/PSK, Cable: 64QAM, Terrestre: OFDM Segmentada/QAM-QPSK) para cada medio de transmisión optimizan las características de transmisión.

Es importante destacar que el ISDB-T demanda ciertos requerimientos de digitalización para su óptimo funcionamiento tales como la compatibilidad para proveer múltiples servicios incluyendo televisión digital de alta definición, además de una suficiente calidad

<sup>13</sup> <http://www.dibeg.org/techp/structure/structure.html>



de transmisión para equipos móviles portables, a esto se le adiciona una alta flexibilidad de la capacidad de transmisión.



**Figura 5.1.** Requerimientos de Digitalización. <sup>14</sup>

Sin embargo, es importante mencionar que para lograr los requerimientos de digitalización fue necesario desarrollar ciertos parámetros, por ejemplo para lograr una transmisión de multicanal con alta calidad (siendo este el primer requerimiento) es necesario definir una banda con 6 MHz de ancho de banda que sea robusta ante la multitrayectoria, por otro lado los servicios multimedia se fundamentan básicamente en la integración de los servicios (Video, Audio y Datos), una alta calidad de los servicios de datos, así como la interoperabilidad son parte de la flexibilidad y la versatilidad de estos, pero para poder lograr estas metas es necesario realizar una eficiente utilización del espectro y esto es posible gracias al uso del Single Frequency Network.

<sup>14</sup> [http://www.dibeg.org/techp/what/what\\_is\\_isdb-t.html](http://www.dibeg.org/techp/what/what_is_isdb-t.html)

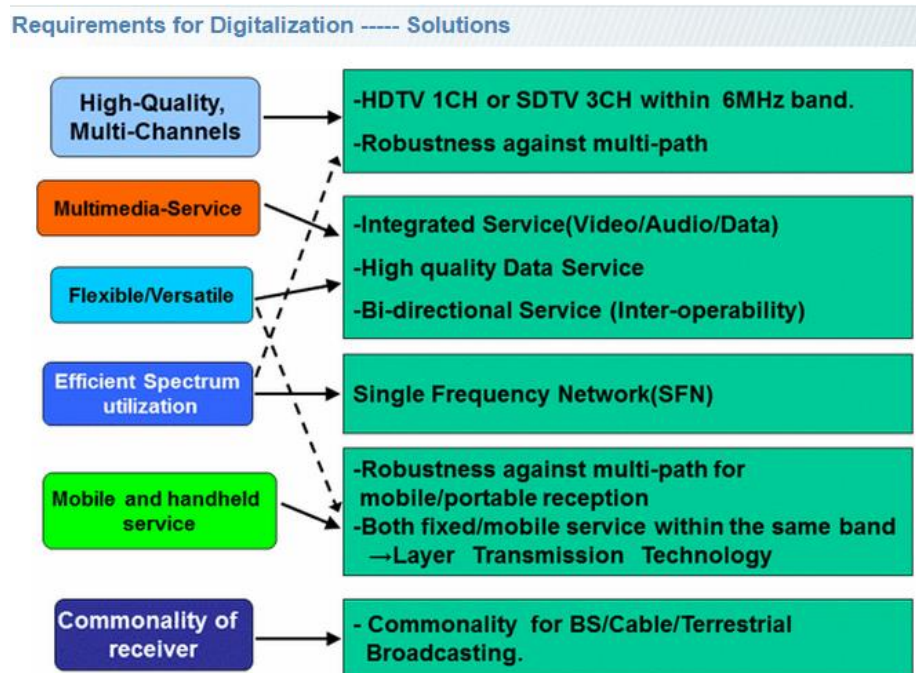


Figura 5.2. Requerimientos de Digitalización- Solución.<sup>15</sup>

## 5.2 Características técnicas de ISDB-T.

- ISDB-T usa la banda de frecuencia UHF, 470-770MHz, colocando en esos 300MHz de ancho de banda un total de 50 canales de 6MHz cada uno (5.572MHz de BW efectivo y 430kHz de separación entre canales.
- Proporciona mayor inmunidad en la banda UHF a las señales transitorias que provienen de motores de vehículos y líneas de energía eléctrica en ambientes urbanos. Estas señales transitorias se concentran en las bandas VHF, razón por la que Brasil y Japón han decidido retirar su uso.
- Proporciona robustez frente a la interferencia multitrayecto, causante de los denominados "fantasmas" de la TV analógica y la interferencia de canal adyacente analógico. Sin embargo para esta última presenta valores peores que los otros sistemas.
- ISDB-T permite variedad en los formatos de la televisión a emitir, pudiendo ofrecer por ejemplo dos o tres canales de definición normal en lugar de uno de alta calidad. Esto es debido a que cada canal se divide en 13 segmentos, más uno para separar los canales, donde 12 segmentos sería lo que ocupa emitir en HDTV, 4 segmentos para SDTV y uno sólo para la emisión de canales para receptores móviles, de ahí el servicio 1seg. Las combinaciones elegidas se pueden cambiar en cualquier momento, dando así libertad a los operadores a emitir en la calidad que crean precisa.

<sup>15</sup> [http://www.dibeg.org/techp/what/what\\_is\\_isdb-t.html](http://www.dibeg.org/techp/what/what_is_isdb-t.html)



- El servicio 1seg de ISDB-T es un servicio de transmisión móvil terrestre de audio y video digital que fue creado en Japón para dar servicio a los trenes de alta velocidad. Este servicio, que permite la proliferación de una nueva red, la recepción móvil, ha abierto puertas además a un mercado gratuito de televisión móvil, obligando así a los demás estándares a ofrecer también este servicio.
- Permite la recepción de HDTV en vehículos a velocidades sobre los 100 Km/h, mientras el sistema DVB únicamente puede ofrecer SDTV y ATSC no podía ni emitir.
- Puede recibirse con una simple antena interior.
- Proporciona servicios interactivos con transmisión de datos, como juegos o compras, vía línea telefónica o banda ancha, dando soporte además a internet gracias a su canal de retorno. Aplicaciones como la EPG (Electronic Program Guide), o servicios para personas discapacitadas o de alta edad, son entre muchas, incluidas en el ISDB-T gracias al interfaz BML (Broadcast Markup Language) de lenguaje Java.
- En compresión de video utiliza MPEG-2 o MPEG-4 AVC/H.264 y en audio MPEG-2 AAC.
- El multiplexado se realiza con el sistema MPEG-2.
- ISDB-T modula en OFDM (Ortogonal Frequency Division Multiplexing), segmentada (13 segmentos/canal), BST-OFDM (Band Segmented Transmission); donde la trama de datos se multiplexa y ordena en grupos de datos, lo que permite repartir el ancho de banda en varios servicios, siendo cada uno de estos grupos un segmento OFDM. Además, BST-OFDM es el único sistema de transmisión que permite enviar varios parámetros de transmisión en un mismo ancho de banda, debido al sistema de transmisión jerárquica. Permite modulación por portadora QPSK, 16QAM, 64QAM o DQPSK.
- Ofrece un sistema nacional de transmisión de alertas utilizando espacio de un segmento de la corriente de datos y los convierte en todos los receptores en una señal de aviso para catástrofes naturales.
- Hace uso de redes de frecuencia única (SFN), con reemisores gap filler para mejorar la emisión a puntos críticos de cobertura.





### 5.3 Comparación de los estándares de TDT realizados por Brasil.

Con el fin de analizar más a fondo el estándar ISDB-T y en comparación a sus pares, según los datos recolectados, un estudio realizado por Brasil nos arroja los siguientes resultados de una comparación entre los tres estándares de TDT. Brasil realizó estas pruebas de comparación de los 3 sistemas DTTB en el periodo de agosto 1999- abril 2000.

#### 1. Pruebas de Laboratorio

De izquierda a derecha, la primera figura muestra, la obtención del rendimiento bajo ruido AWGN + impulso. De la misma manera la segunda figura nos muestra, la obtención del rendimiento en virtud de interferencia multirrayecto.

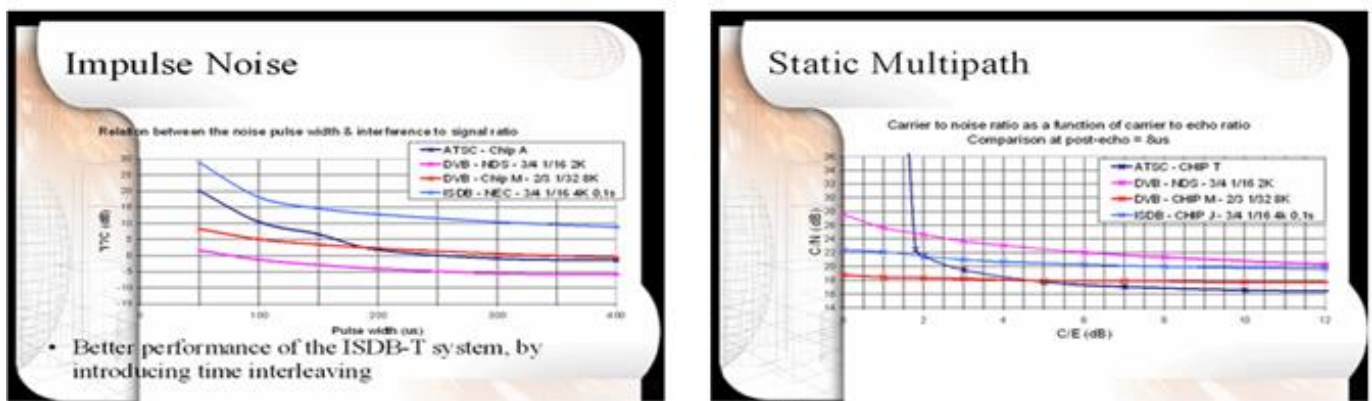


Figura 5.3. A) Obteniendo el rendimiento en condiciones de ruido + impulso. B) Interferencia por multirrayectoria.<sup>16</sup>

#### 2. Pruebas de campo

La siguiente figura muestra la relación entre el porcentaje de recepción y la distancia desde el sitio del transmisor. ISDB-T muestra el mejor rendimiento de la recepción.

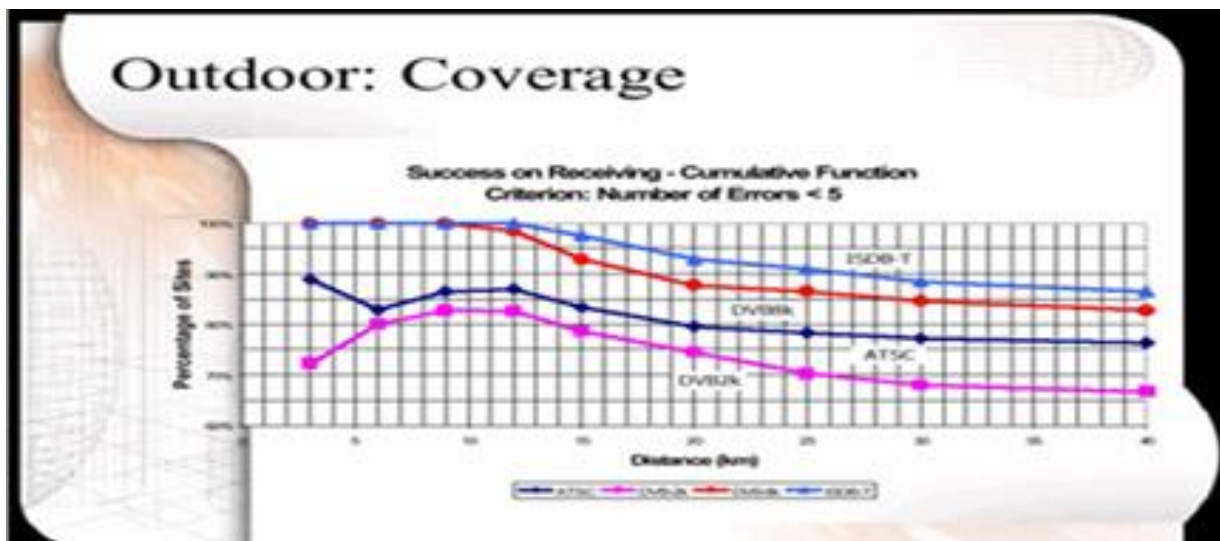


Figura 5.4. Cobertura, recepción en el espacio libre.

<sup>16</sup> <http://www.dibeg.org/techp/3comp/3comp.html>



El resumen de las pruebas de laboratorio y de campo realizado por los “brasileños” se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 5.2.** Resumen de las pruebas realizadas por Brasil.<sup>17</sup>

Requerimientos	Sistema de acuerdo a los requerimientos	Nota
Velocidad máxima de bits en un entorno de ruido Gaussiano.	ATSC	
Robustez contra la interferencia multitrayectoria	DVB-T, ISDB-T	Nota 1
Robustez contra el ruido impulsivo	ISDB-T	Gracias al time interleave.
Área amplia de operación de Red de Frecuencia Única	DVB-T, ISDB-T	
Movilidad y Probabilidad	ISDB-T >> DVB-T	Gracias al time interleave
Transmisión Jerárquica (El sistema de modulación múltiple simultáneamente en un mismo canal es posible)	ISDB-T >> DVB-T	Nota 2
Sistema común con la radiodifusión sonora digital terrestre.	ISDB-T	

Nota 1: En la condición multitrayecto estática, DVB-T e ISDB-T son casi lo mismo, pero con la condición de trayectoria múltiple dinámico, ISDB-T es superior gracias al uso de time interleave.

Nota 2: DVB-T tiene una función de transmisión jerárquica (transmisión no uniforme), pero no se practica su servicio en el mundo (debido al bajo rendimiento que recibe)

## 5.4 Principales requerimientos para el Sistema ISDB-T.

Según Digital Broadcasting Experts Group (Dibeg) los principales requerimientos en el sistema ISDB-T se definen:

- **Alta calidad y flexibilidad de servicio:** Tecnología multiplex flexible (sistemas MPEG-2), eficiencia de codificación de vídeo flexible y de alta calidad de audio (MPEG-2 y MPEG AAC) y se adoptó en ISDB-T. Como resultado, muchos tipos de servicio de radiodifusión, tales como HDTV, + HDTV SDTV y SDTV multicanal, son apoyados por ISDB-T.
- **Robustez / Flexibilidad Recepción:** Para diseñar el sistema de transmisión de la radiodifusión digital terrestre, es importante tener en cuenta el factor de degradación de la banda de VHF / UHF, como el ruido térmico, la interferencia multi-path (estática y dinámica), el ruido urbano, la decoloración de la recepción móvil / portátil y otros. Para dar robustez frente a esos factores de degradación, ISDB-T adopta el sistema de transmisión OFDM con la tecnología "Time

<sup>17</sup> <http://www.dibeg.org/techp/3comp/3comp.html>



Interleaved". Como resultado, ISDB-T ofrece; potencia del transmisor inferior, la posibilidad de recepción de la antena de interior y servicio de recepción móvil / portátil.

- **Utilización Eficaz de los Recursos de Frecuencia:** El sistema de transmisión OFDM contribuye a la construcción de red de frecuencia única (SFN), que hace posible ahorrar el recurso de frecuencia para el transmisor (repetidor), esto para que dicho transmisor utilice la misma frecuencia para transmisores plurales de la misma red, y recibir los programas por parte de los equipos móviles o portátiles sin el cambio de un canal de recepción.
- **Movilidad y Portabilidad:** Para habilitar el servicio de recepción fija, móvil o portátil en el mismo ancho de banda, ISDB-T adopta una nueva tecnología de transmisión, denominado "sistema de transmisión OFDM segmentado". Esta tecnología permite "One-seg" de servicio, por medio de 1 segmento en el ancho de banda. Un receptor seg se monta fácilmente en teléfonos móviles, PDA portátil, sintonizador USB.
- **5. El servicio One-seg:** Utiliza 1 segmento en el mismo ancho de banda, no necesita otro transmisor para el servicio. Conduce el ahorro de recursos de frecuencia y el costo de la infraestructura de radiodifusión. Y más, la recepción de banda estrecha de receptor One-seg ahorra el consumo de energía.
- **6. La similitud:** Para reducir el coste del receptor, la tecnología backend de ISDB-T está utilizando la misma tecnología que satélite, terrestre y por cable. Como resultado, el mismo chip backend se puede montar en un receptor digital. En realidad el receptor integrado equipado con satélite y sintonizador terrestre es ordinal.
- **7. La utilización para la prevención de desastres:** Una importante cuestión de la radiodifusión digital. ISDB-T tiene la ventaja de la portabilidad y tiene la función de EWS (Sistema de Banda Ancha de Atención de Emergencias).

[Nota] El propósito de la EDT es poner en marcha el receptor automáticamente por señal de emisión de advertencia.



## CAPÍTULO VI.

### 6 Técnicas de Transmisión del sistema ISDB-T.

#### 6.1 Transmisión y Recepción en el sistema ISDB-T.

El sistema de radiodifusión digital terrestre japonés adopta excelentes tecnologías. Las características de transmisión y recepción son las siguientes:

1. La utilización de la frecuencia Eficiente:

- Adopta el sistema de transmisión OFDM considerando operación en SFN.
- Adopta la transmisión jerárquica para darse cuenta de los diferentes servicios de recepción de la misma banda de frecuencia.

2. Servicio móvil y portátil en un estándar de transmisión:

- Time interleave: Mejora la calidad de la recepción móvil
- La recepción Parcial: el servicio de mano en el mismo canal

3. La robustez frente a interferencias.

- Adopta la corrección de errores concatenados con intercalación plural.
- Time Interleave: muy eficaz contra el ruido impulsivo

4. La flexibilidad para varios tipos de servicio y estilo de la recepción.

5. La similitud de la TV con el sistema de transmisión de audio.

6. Auxiliar (AC) de canales puede ser utilizado para la gestión de la red de transmisión.

La Figura 5.4, nos muestra un diagrama de bloques de la transmisión y recepción en el sistema de ISDB-T.

1. Bloque de entrada que se encargará de la generación de las tramas binarias: BTS.
2. Bloque de modulación, la esencia del estándar Japonés-Brasileño: OFDM.

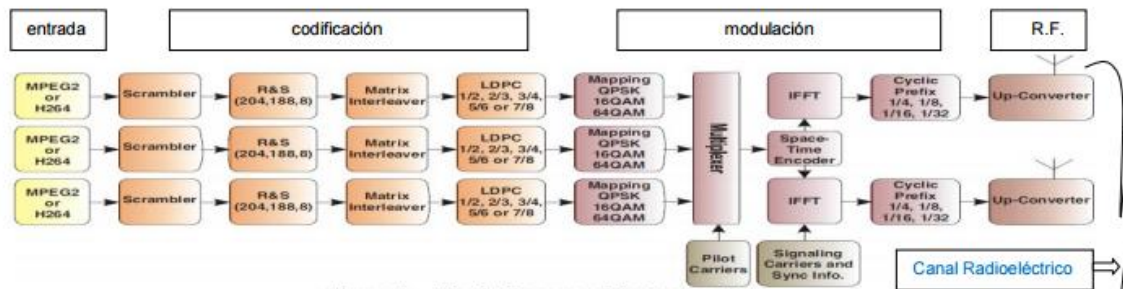


Figure 1 – Block diagram of the transmitter.

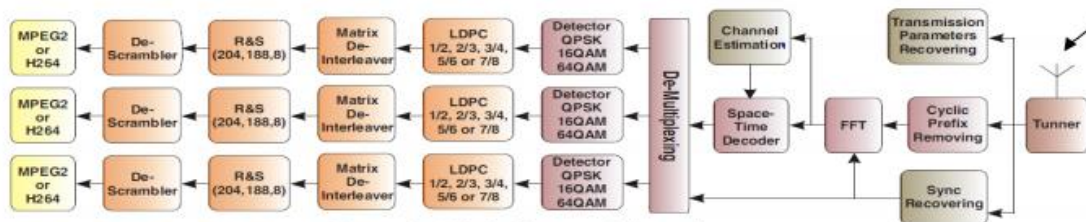


Figure 2 – Block diagram of the receiver.

**Figura 6.** Diagrama de bloques de transmisión y recepción del estándar ISDB-T. <sup>18</sup>

Bloque de entrada: Primeramente se admite que toda nuestra información (audio, videos, y datos) se encuentran digitalizados, es decir se representan en un formato bps y utilizando las bondades de la comprensión, que son protocolos que se rigen en transformar flujos digitales grandes y lo reducen en gran proporción, sin pérdida aparente de calidad.

Para poder ser interpretados los flujos digitales de video, audio y datos igualmente, se utiliza un multiplexor que es el que se encarga de generar en su salida los llamados “Transport Stream (TS)”, el cual se encuentra compuesto por 187 bytes de carga útil y 1 byte de sincronismo. De manera opcional, se podría utilizar un segundo multiplexor, el cual se encargaría de posibilitar la introducción de todas las señales digitales y también la señal local.

De manera continua los “TS” entraran a un Re-Multiplexor que es el encargado de generar los llamados BTS (Flujo de Transporte Broadcasting), los cuales son la información binaria total a transportar:

- Son flujos binarios sincrónicos constituidos por tramas o paquetes de 204 bytes.
- Tienen tasa de transmisión constante de 32,5079Mbps.
- Resuelven la transmisión jerárquica y la recepción parcial.
- Agrega cabecera de 16 bytes de información: configuración, sincronismos, programación, etc.

<sup>18</sup> [http://www.edutecne.utn.edu.ar/cytal\\_frm/CyTAL\\_2012/TF/TF013.pdf](http://www.edutecne.utn.edu.ar/cytal_frm/CyTAL_2012/TF/TF013.pdf)

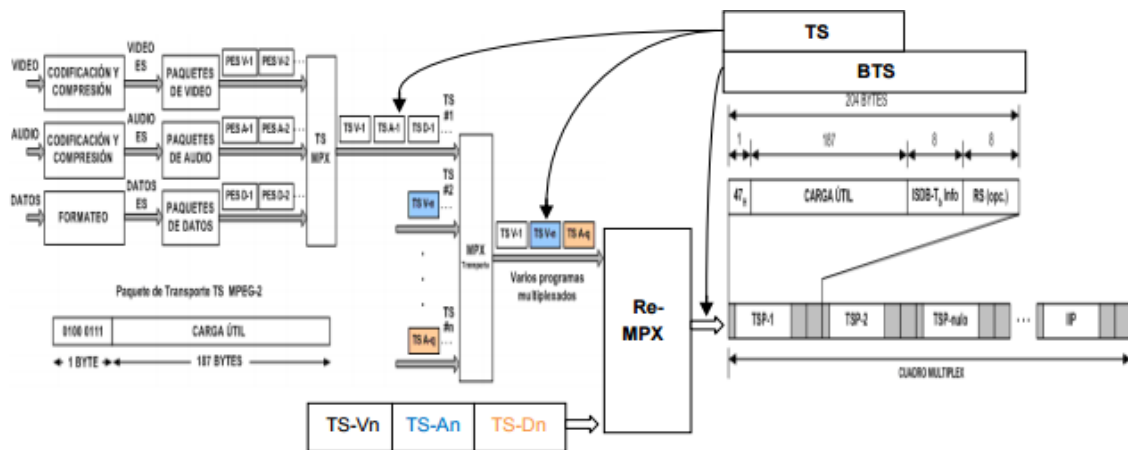


Figura 6.1. Bloque de entrada y BTS.<sup>19</sup>

Bloque de Modulación: Supongamos que se está sintonizando un canal radioeléctrico y gracias a un analizador de espectro podemos observar la señal transmitida, la cual sería la siguiente:

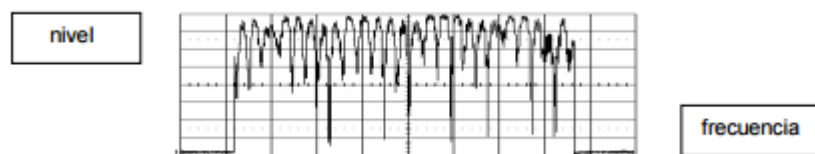


Figura 6.2. Espectro de la señal recibida.<sup>20</sup>

Podemos apreciar en la figura 6.2, que la respuesta de frecuencia no es la misma para todas las frecuencias que se encuentra incluidas dentro de la anchura de la banda del canal, hay sumas y restas de señales directas y reflejadas.

Si esta señal se modulara en una sola portadora, podría suceder que en varios momentos se desvaneciera totalmente, causando que se perdiera toda la información modulante. En cambio resulta de manera muy beneficiosa distribuir los datos (TSP) en una gran cantidad de frecuencias estrechamente separadas que no interactúan entre sí (OFDM); y poder recuperar parte de la información transmitida a través de las frecuencias que no han sufrido ninguna alteración durante el proceso de propagación.

Los datos que sean restantes corruptos se intentarán recuperar gracias a las técnicas generadas por los códigos correctores de errores (COFDM); los cuales son Código Reed-Solomon y Código Viterbi.

Las características del canal radioeléctrico no se mantienen constantes en el tiempo. Si a la figura anterior se la obtiene en otro instante, aparecerán degradaciones en frecuencias diferentes. Entonces, se debe transmitir en el canal en intervalos de tiempo durante los cuales las condiciones se mantienen constante. Por tanto, resultarán diagramas donde el nivel es función de las frecuencias y es función del tiempo, generando dos posibles inconvenientes:

<sup>19</sup> [http://www.edutecne.utn.edu.ar/cytaal\\_frmv/CyTAL\\_2012/TF/TF013.pdf](http://www.edutecne.utn.edu.ar/cytaal_frmv/CyTAL_2012/TF/TF013.pdf)

<sup>20</sup> [http://www.edutecne.utn.edu.ar/cytaal\\_frmv/CyTAL\\_2012/TF/TF013.pdf](http://www.edutecne.utn.edu.ar/cytaal_frmv/CyTAL_2012/TF/TF013.pdf)





1. En el eje de las frecuencias, podrían generarse intermodulaciones entre portadoras (ICI). Para ello el uso de las portadoras ortogonales, que funcionan de la siguiente manera: si nuestra información binaria a transmitir (stream de información) constituye una ráfaga de pulsos de anchura  $T_u$  (tiempo útil) y de período  $T_s$  (tiempo de símbolo). Por Fourier, tiene su espectro definido por la función envolvente discreta de la función  $\frac{\sin x}{x}$ .
  - Su cruce por cero es la separación de las frecuencias ortogonales y  $T_u$  es el tiempo útil.
  - Su separación espectral es  $\Delta f' = \frac{1}{T_s}$  y  $T_s$  es el tiempo del símbolo (donde  $T_s = T_u + T_g$ ).
  - El espaciado temporal entre pulsos se define como  $T_g$ : tiempo de guarda.
  - La relación de guarda  $\Delta = T_g/T_u$  es configurable en valores: 1/4; 1/8; 1/16; 1/32.

La separación espectral tiende a cero cuando se rellena el espacio entre pulsos; así la función  $\frac{\sin x}{x}$  envolvente discreta pasa a ser continua y no se pierden sincronismos en el receptor. Dicho relleno se hace con la parte final del símbolo y equivale a la función inversa de auto correlación.

2. En el eje de los tiempos podrían generarse intermodulaciones entre símbolos (ISI), por:
  - Propagación multitrayectoria: diferente recorrido entre onda directa y onda reflejada (o eco).
  - Transmisiones en redes de frecuencia única: diferente recorrido de 2 ondas directas (2 torres).

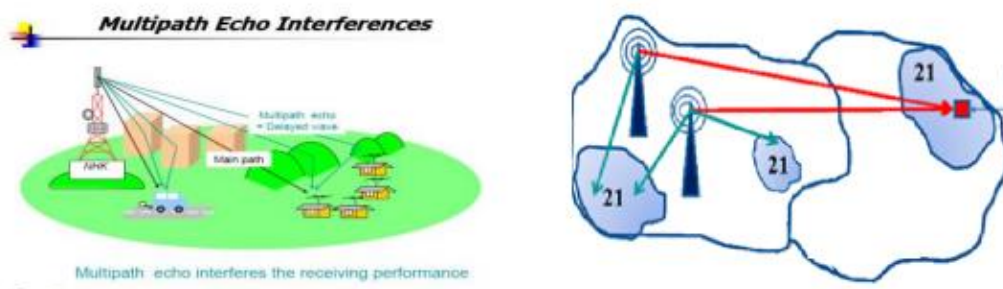


Figura 6.3. Propagación Multitrayectoria y Transmisores en SFN.



Sabemos que los receptores no solo reciben una señal directa, sino también llegan a la antena con un cierto intervalo de retardo con algunas réplicas de la señal original o ecos, en pocas palabras todo símbolo OFDM corre algún riesgo, entonces con el fin de prever los retardos de ondas electromagnéticas que viajan a la velocidad de la luz pero que recorren diferentes distancias es que se añade el intervalo de guarda al comienzo de cada símbolo OFDM, como se muestra en la Figura 6.4.

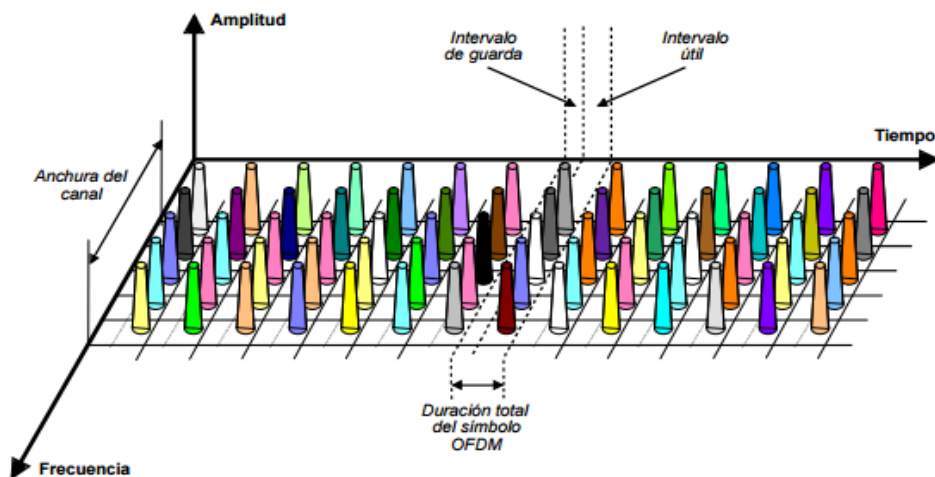


Figura 6.4. Intervalo de guarda.

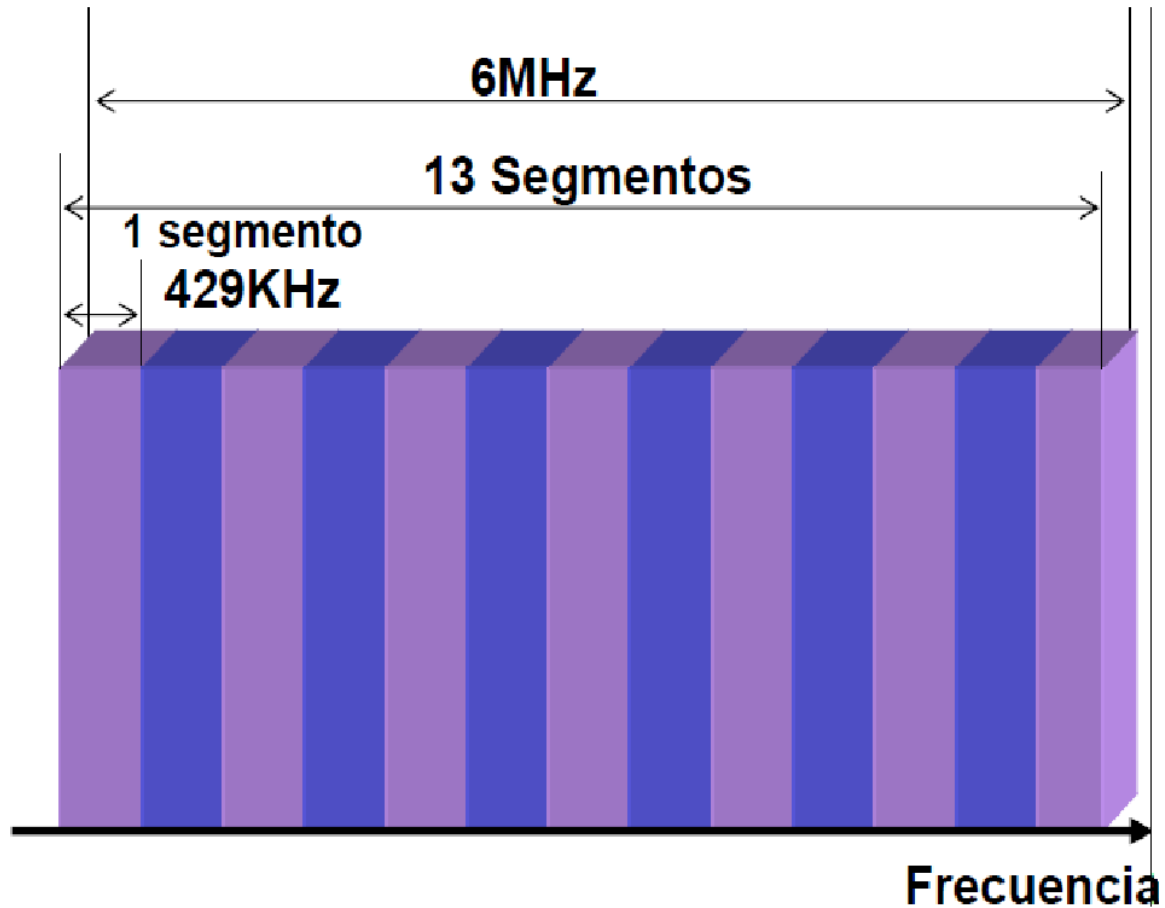
El período de tiempos se constituye en una mezcla que corresponde al símbolo actual y sus réplicas retardadas en el símbolo OFDM previo, en pocas palabras tiempo de guarda es un tiempo muerto, que tiene como característica una ausencia total de señal transmitida.





## 6.2 Sistema de Transmisión ISDB-T.

Entre las características del sistema ISDB-T tenemos: Modulación (DQPSK, QPSK, 16QAM, 64QAM), 1HDTV O N SDTV/Canales, Velocidad de transferencia de 17.8 Mbps, Anchura espectral de 6MHz, Redes isofrecuencia, Recepción móvil (time interleaving).



**Figura 6.5.** Banda segmentada OFDM del sistema ISDB-T.<sup>21</sup>

La Figura 6.5 muestra la estructura de segmentos en ISDB-T, cada segmento contiene 429 KHz, en total son 13 segmentos, con un ancho de banda espectral de 6MHz y el funcionamiento de esta estructura segmentada se explica mejor en la Figura 6.6.

<sup>21</sup> [http://www.dibeg.org/news/previous\\_doc/0706\\_3Argentina\\_ISDB-T\\_seminar/Argentina\\_ISDB-T\\_seminar\\_3\\_transmission\\_system\(spanish\)rev1.pdf](http://www.dibeg.org/news/previous_doc/0706_3Argentina_ISDB-T_seminar/Argentina_ISDB-T_seminar_3_transmission_system(spanish)rev1.pdf)

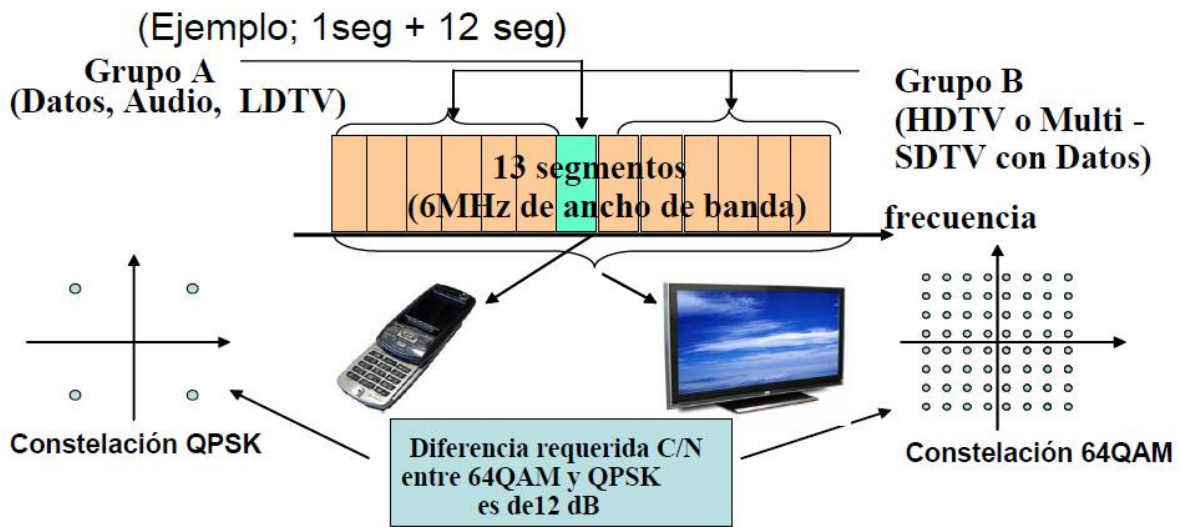


Figura 6.6. Estructura segmentada y recepción parcial.<sup>22</sup>

Se observan dos grupos, el máximo de grupos permisible es de 3, se puede seleccionar de los 13 cualquier cantidad de segmentos para cada grupo, y se permite la asignación de diferentes parámetros de transmisión para cada grupo. Analizando la figura, podemos observar que los segmentos están divididos en 2 grupos, estos poseen un esquema de modulación distinto (Grupo A: QPSK, Grupo B: 64QAM), y el grupo A posee un segmento en cambio el grupo B posee los 12 segmentos restantes.

### 6.3 Características del Sistema de Trasmisión ISDB-T.

#### 1. Eficiencia en la utilización de la frecuencia

- Adopción del OFDM en el sistema de transmisión; SFN operación isofrecuencia.
- Adopción de transmisión jerárquica; servicios para diferentes tipos de recepción en un solo canal dentro del mismo ancho de banda.

#### 2. Servicio Móvil/handheld en transmisión estándar.

#### 3. Robustez en contra de la interferencia

- Adopción de la corrección de error concatenado con interleave plural.
- Time interleave; muy efectivo contra el ruido de impulso (ruido urbano).

#### 4. Flexibilidad para diferentes tipos de servicio/tipos de recepción.

#### 5. Compatibilidad de TV/Audio en transmisión estándar.

#### 6. Un canal auxiliar (AC) puede ser usado para el manejo de la red de transmisión.

<sup>22</sup> [http://www.dibeg.org/news/previous\\_doc/0706\\_3Argentina\\_ISDB-T\\_seminar/Argentina\\_ISDB-T\\_seminar\\_3\\_transmission\\_system\(spanish\)rev1.pdf](http://www.dibeg.org/news/previous_doc/0706_3Argentina_ISDB-T_seminar/Argentina_ISDB-T_seminar_3_transmission_system(spanish)rev1.pdf)



## 6.4 Parámetros del ISDB-T.

**Tabla 6.4.** Parámetros de ISDB-T con 6MHz de anchura espectral.<sup>23</sup>

Modo ISDB-T	Modo 1 (2k)	Modo 2 (4k)	Modo 3 (8k)
Numero de seg. en OFDM	13		
Ancho de banda útil	5.575MHz	5.573MHz	5.572MHz
Espacio entre portadoras	3.968kHz	1.984kHz	0.992kHz
Total de portadoras	1405	2809	4992
Modulación	QPSK , 16QAM , 64QAM , DQPSK		
Numero de símbolos / cuadro	204		
Longitud del símbolo activo	252 $\mu$ s	504 $\mu$ s	1.008ms
Longitud del intervalo de guarda	1/4 , 1/8 , 1/16 , 1/32 de la duración del símbolo activo		
Código interior	Código de convolucion (1/2 , 2/3 , 3/4 , 5/6 , 7/8)		
Código de salida	RS (204,188)		
Time interleave	0 ~ 0.5s		
Velocidad de transferencia útil	3.651Mbps ~ 23.234Mbps		

La Tabla 6.4 nos muestra los parámetros de operación del estándar ISDB-T, trabajando con un ancho de banda espectral de 6MHz.

## 6.5 Transmisión Jerárquica en ISDB-T.

### 6.5.1 Conceptos del sistema de transmisión Jerárquica.

La transmisión jerárquica es una característica del sistema ISDB-T, la cual no posee el sistema DVB-T.

Los parámetros de transmisión se pueden asignar a cada ID del servicio. A este tipo de sistema de transmisión se le conoce como transmisión jerárquica. Por ejemplo, al servicio que debe ser más fuerte en contra de interferencias tales como ruido urbano se le asigna al grupo de modulación en QPSK, a otros servicios se le asigna al grupo de modulación 64QAM.

Para el caso de DVB-T, para servicios de recepción portátil, se tiene que preparar otra frecuencia adicional, pero en ISDB-T, diferentes tipos de recepción pueden emplearse gracias a este sistema de transmisión.

<sup>23</sup> [http://www.dibeg.org/news/previous\\_doc/0706\\_3Argentina\\_ISDB-T\\_seminar/Argentina\\_ISDB-T\\_seminar\\_3\\_transmission\\_system\(spanish\)rev1.pdf](http://www.dibeg.org/news/previous_doc/0706_3Argentina_ISDB-T_seminar/Argentina_ISDB-T_seminar_3_transmission_system(spanish)rev1.pdf)

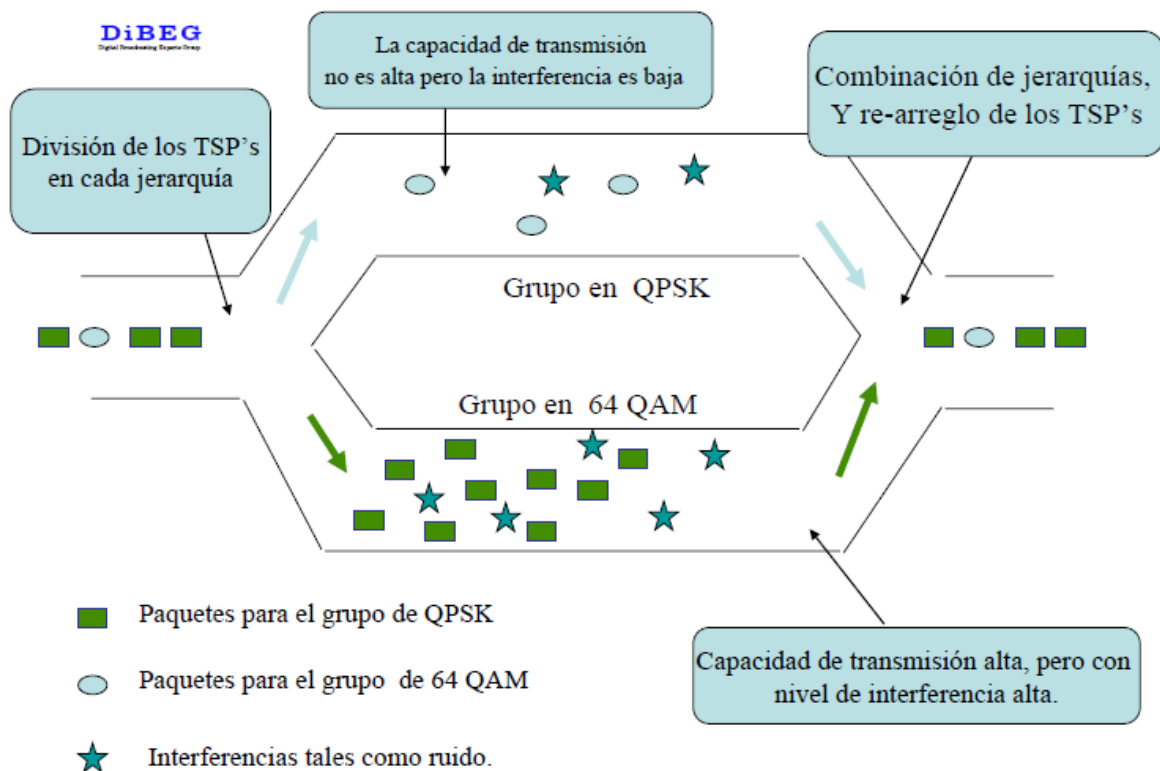


Figura 6.7. Transmisión Jerárquica.<sup>24</sup>

La Figura 6.7 nos explica brevemente el funcionamiento y el proceso en el sistema de transmisión jerárquico, primero los TSP's son ubicados según la jerarquía que se les asignó tomando en cuenta que los esquemas de modulaciones permiten bondades diferentes, en el caso de QPSK nos ofrece una capacidad de transferencia baja pero como virtud el nivel de interferencia que presenta es bajo, en cambio, 64 QAM, presenta una capacidad alta de transmisión pero el nivel de interferencia es alto.

<sup>24</sup> [http://www.dibeg.org/news/previous\\_doc/0706\\_3Argentina\\_ISDB-T\\_seminar/Argentina\\_ISDB-T\\_seminar\\_3\\_transmission\\_system\(spanish\)rev1.pdf](http://www.dibeg.org/news/previous_doc/0706_3Argentina_ISDB-T_seminar/Argentina_ISDB-T_seminar_3_transmission_system(spanish)rev1.pdf)

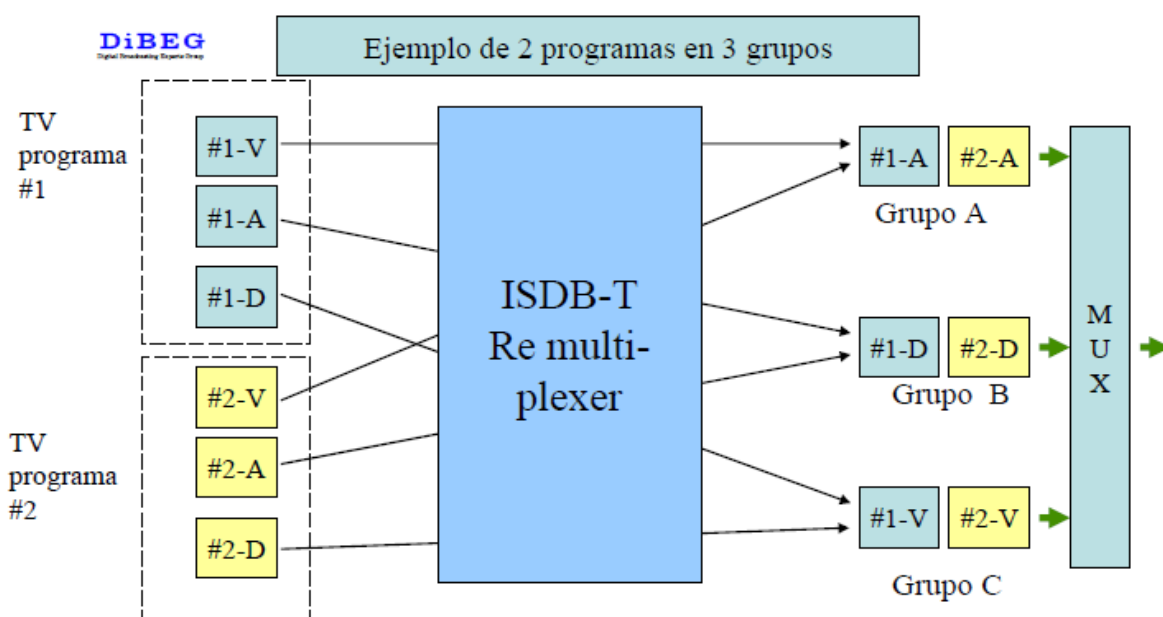


Figura 6.8. Transmisión de grupos múltiples.<sup>25</sup>

El sistema de transmisión jerárquico en ISDB-T, realiza un proceso llamado Re-Multiplexer que se muestra en la Figura 6.8, este proceso lleva a cabo la agrupación de los segmentos que fueron asignados a los diferentes grupos, recordemos que anteriormente dejamos en claro que el máximo de grupos permisibles en este sistema es de 3, cada grupo posee un orden jerárquico diferente asignado de acuerdo al tipo de servicio que se desea transmitir.

## 6.6 Red de Frecuencia Única – SFN.

La escasez de espectro disponible y el ancho de banda es uno de los principales problemas que los radiodifusores y operadores de red se enfrentan. Teniendo en cuenta el rápido crecimiento y despliegue comercial de los nuevos servicios de televisión terrestre y móvil (DVB-T, DVB-H, DTMB etc.), los radiodifusores y operadores de red se enfrentan a la escasez de frecuencias. Además, el precio de las licencias de radiodifusión, que opera una red donde espectro/ancho de banda está optimizado vuelve más eficiente en lo que respecta al plan de negocios.

En base a las propiedades de modulación COFDM, Digital Video Broadcasting (DVB consorcio) introdujo una forma de optimizar el espectro y el ancho de banda para DVB-T y DVB-H de difusión, es decir, red de frecuencia única (SFN). La topología SFN contrasta con la topología NMF (Red de Múltiple Frecuencia), donde todos los transmisores de radiodifusión operan en una frecuencia diferente.

Dentro de una red de frecuencia única, todos los transmisores de una célula SFN transmitirán a través de la misma frecuencia, lo que permite la optimización de ancho de banda y espectro. El reto es, pues, para proporcionar todos los transmisores con la información necesaria con el fin de transmitir sobre la misma frecuencia.

<sup>25</sup> [http://www.dibeg.org/news/previous\\_doc/0706\\_3Argentina\\_ISDB-T\\_seminar/Argentina\\_ISDB-T\\_seminar\\_3\\_transmission\\_system\(spanish\)rev1.pdf](http://www.dibeg.org/news/previous_doc/0706_3Argentina_ISDB-T_seminar/Argentina_ISDB-T_seminar_3_transmission_system(spanish)rev1.pdf)



SFN: es una técnica que permite la transmisión en la misma frecuencia dentro de la misma cobertura sin interferencias. Una característica clave en DTV.

NMF: Esta técnica proporciona cobertura en un área de servicio haciendo uso de múltiples frecuencias.

La siguiente figura ilustra perfectamente la problemática: en NMF, tres frecuencias de transmisión diferentes están en uso, con ancho de banda de 24 MHz ocupada. En SFN, una sola frecuencia, con la optimización del ancho de banda: sólo el 8 MHz.

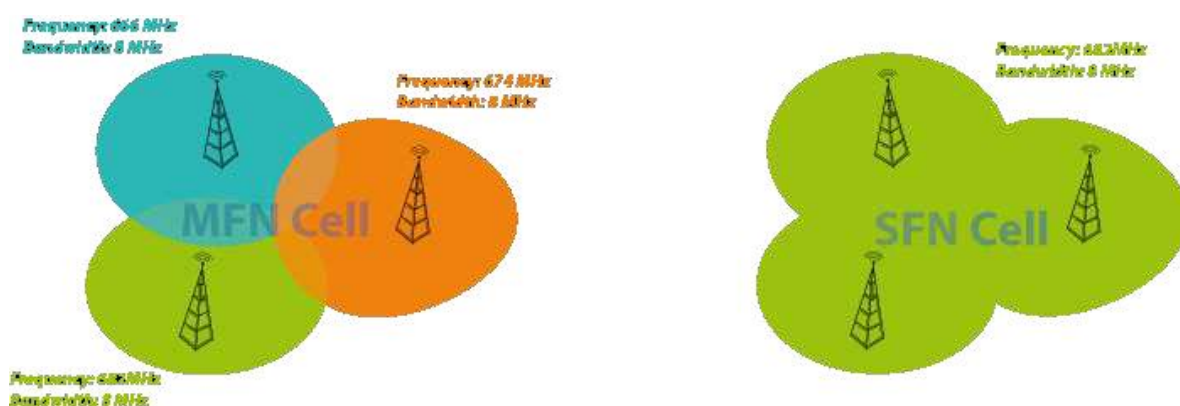


Figura 6.9. Comparación de topología entre MFN y SFN.<sup>26</sup>

### 6.6.1 Requisitos para la extensión de una red SFN.

Con el fin de configurar una red SFN, tres condiciones tienen que cumplirse. Transmisores pertenecientes a una célula SFN irradian:

1. sobre la misma frecuencia
2. al mismo tiempo
3. los mismos símbolos OFDM.

La primera condición es básicamente fácil de satisfacer: todos los transmisores se configuran una vez a la frecuencia de difusión requerida (a nivel modulador). Las condiciones 2) y 3) implican proporcionar a los transmisores información adicional: de sincronización y parámetros de transmisión. Esto es específicamente la tarea del adaptador de Red de Frecuencia Única (SFN): el adaptador SFN agregará a la corriente TS toda la información requerida por los transmisores.

Datos opcionales pueden ser transmitidos individualmente (transmisión de retraso, añaden desplazamiento de frecuencia, etc.). Dependiendo de la norma (DVB-T, ISDB-T) las funciones opcionales pueden diferir. Paquete MIP: Paquetes de inicialización de la megatrama. La sincronización y transmisión de la información enviada a los transmisores se almacenan en un paquete TS llamado paquete MIP.

<sup>26</sup> [http://www.enensys.com/documents/whitePapers/ENENSYS%20Technologies%20-%20Single\\_frequency\\_network%20Overview.pdf](http://www.enensys.com/documents/whitePapers/ENENSYS%20Technologies%20-%20Single_frequency_network%20Overview.pdf)



## Parámetros de transmisión

Los parámetros de transmisión también se conocen como bits TPS (señalización de parámetros de transmisión). Esos TPS representan ajustes de modulación (intervalo de guarda, ancho de banda, el modo FFT etc.).

Información de sincronización: Sello de tiempo (STS: Sincronización Tiempo sello) y presupuesto de tiempo (máximo retardo de red).

Funciones opcionales: las funciones opcionales están dirigidas a abordar individualmente transmisores por medio de su TxID que permiten entre otras refinamiento en la cobertura de RF.

La siguiente figura ilustra a grandes rasgos (de la izquierda) la estructura del paquete de MIP (tres secciones principales). Del lado derecho muestra la correspondencia con la norma que especifica el MIP de inserción (ETSI EN 101 191).

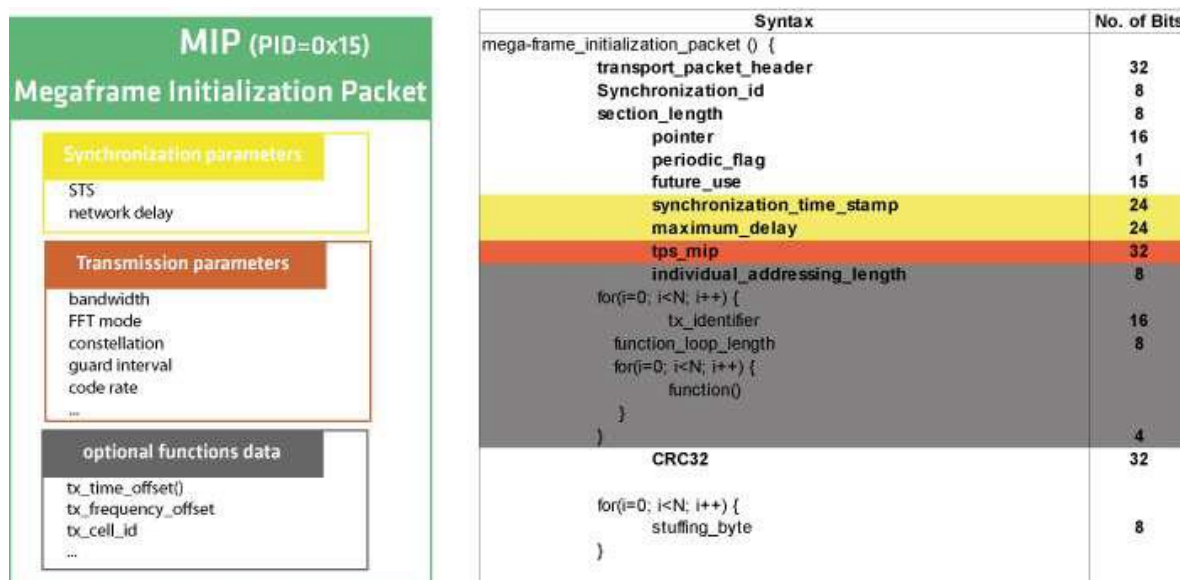


Figura.6.10. Paquete MIP.<sup>27</sup>

<sup>27</sup> [http://www.enensys.com/documents/whitePapers/ENENSYS%20Technologies%20-%20Single\\_frequency\\_network%20Overview.pdf](http://www.enensys.com/documents/whitePapers/ENENSYS%20Technologies%20-%20Single_frequency_network%20Overview.pdf)





### 6.6.2 Retransmisión de ondas de Radiodifusión.

Un escenario de estaciones retransmisoras de ondas de radio se muestra en la siguiente figura.

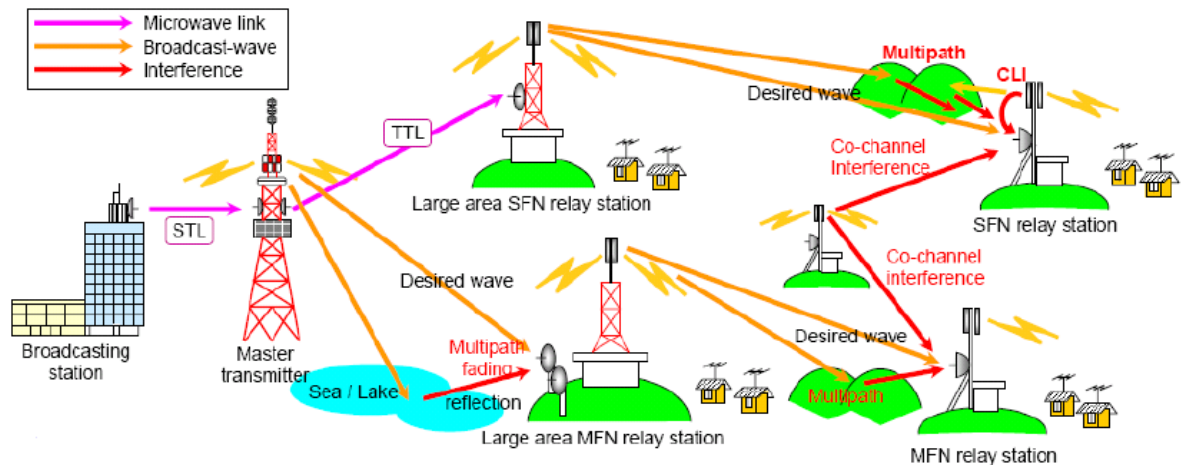


Figura 6.11. Escenario de interferencias de la red SFN. <sup>28</sup>

Se observa en la figura, enlaces de microondas y Radiodifusión de ondas y se refleja como las ondas propagadas se ven afectadas por diferentes tipos de interferencias.

Recepción de Interferencias mezcladas en la estación de retransmisión:

- Multitrayectoria.
- Desvanecimiento.
- La interferencia co-canal (analógico / digital) de otras estaciones.
- CLI (interferencia en el bucle de acoplamiento; bucle de retroalimentación) en el retransmisor SFN.

SFN cuenta con métodos que ayudan a reducir las afectaciones y degradaciones que estas interferencias pueden causar a las señales emitidas.

<sup>28</sup> [http://www.dibeg.org/news/2008/0810Philippins\\_ISDB-T\\_seminar/Presentation7.pdf](http://www.dibeg.org/news/2008/0810Philippins_ISDB-T_seminar/Presentation7.pdf)





## Tecnologías de Compensación.

La siguiente tabla muestra la efectividad con la que las tecnologías de compensación de SFN hacen frente a las diferentes interferencias existentes en una estación de retransmisión.

**Tabla 6.5.** Tecnologías de compensación SFN.<sup>29</sup>

Compensation technology	Interference at relay station			
	Multipath	Fading	Co-channel Interference	Coupling Loop Interference
Multipath Equalizer	○	×	×	×
Diversity Reception	◎	◎	×	×
CLI Canceller (On-channel Repeater)	○	×	×	◎
Adaptive Array Antenna	◎	◎	◎	×

◎: excellent, ○: good, ×: ineffective

El anulador de interferencias en el bucle de acoplamiento permite la retransmisión de una sola frecuencia (retransmisor SFN), dos características fundamentales posee este anulador de CLI:

1. Algoritmo de cancelación adaptativa con procesamiento de señal digital.
2. Estima las características CLI para generar una réplica y cancela CLI de la señal recibida.

<sup>29</sup> [http://www.dibeg.org/news/2008/0810Philippines\\_ISDB-T\\_seminar/Presentation7.pdf](http://www.dibeg.org/news/2008/0810Philippines_ISDB-T_seminar/Presentation7.pdf)

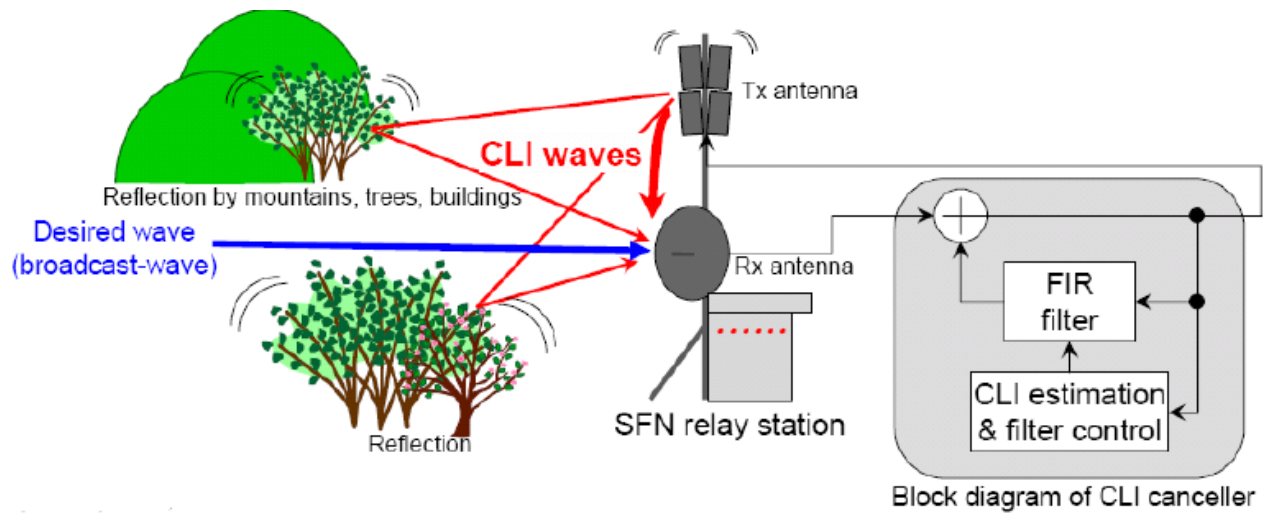


Figura 6.12. Diagrama de bloque del anulador CLI.<sup>30</sup>

### Agrupación de antenas adaptativas para el anulador CLI.

El sistema adaptable de arreglo de antena con procesamiento de señal digital elimina la interferencia co-canal utilizando la diferencia en las direcciones de llegada de la onda deseada y la interferencia no deseada.

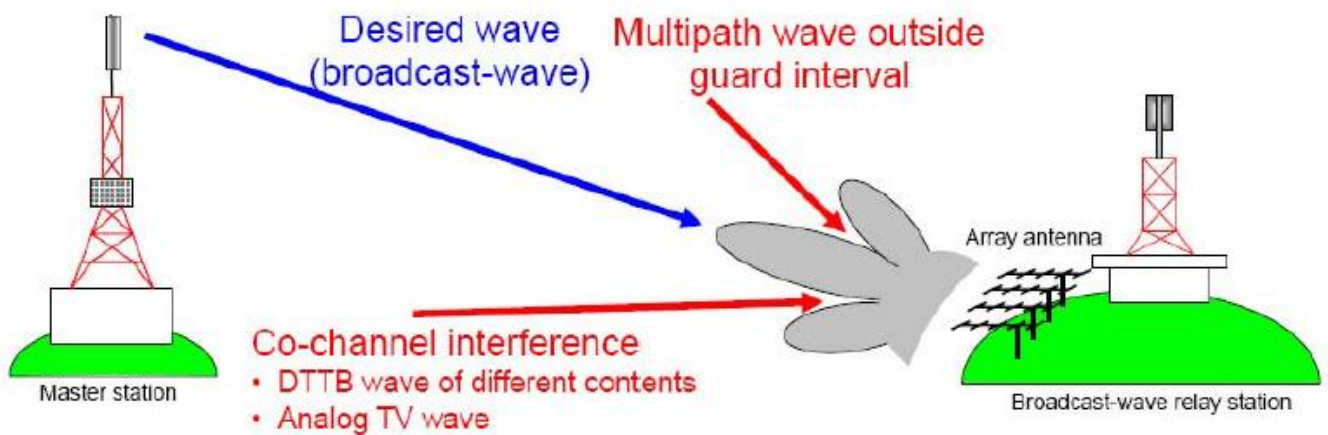


Figura 6.13. Arreglo de antenas adaptativas.<sup>31</sup>

<sup>30</sup> [http://www.dibeg.org/news/2008/0810Philippines\\_ISDB-T\\_seminar/Presentation7.pdf](http://www.dibeg.org/news/2008/0810Philippines_ISDB-T_seminar/Presentation7.pdf)

<sup>31</sup> [http://www.dibeg.org/news/2008/0810Philippines\\_ISDB-T\\_seminar/Presentation7.pdf](http://www.dibeg.org/news/2008/0810Philippines_ISDB-T_seminar/Presentation7.pdf)



## CONCLUSIONES.

El auge del uso de las tecnologías digital en la televisión, nace de la necesidad de mejorar y optimizar los recursos espectrales haciendo uso de las bondades que ofrece cada uno de los estándares de la televisión digital terrestre. En este sentido durante la elaboración de esta investigación y luego de llevar a cabo las respectivas comparaciones técnicas, se logró constatar que el sistema de televisión digital que más se aproxima a una implementación en Nicaragua es el estándar ISDB-T.

Desde su invención este estándar japonés ha tenido mucha aceptación en los países Latinoamericanos, debido a sus características que manifiestan mejoras respecto a sus pares digitales.

Entre las mejoras más notables que consideramos: SFN, un sistema de red ideal para países como el nuestro, en donde el rehúso de frecuencia es un aspecto significativo para las operadoras, adquiriendo de esta forma la disminución de gastos por el pago de licencia al ente regulador de las telecomunicaciones en Nicaragua, TELCOR.

Continuando con el aspecto de la reducción de recursos la transmisión jerárquica de ISDB-T hace posible el sistema de modulación múltiple simultáneamente a través de un mismo canal. Además es posible trabajar con dos tasas de transferencia, una alta y una baja (17.8Mbps y 440Kbps) que le permite al operador asignar las tasas de transferencias que requieran con libertad de elección.

También posee características que presentan mejoras en la transmisión, como la robustez contra el ruido y la movilidad gracias al time-interleave. Al mismo tiempo ISDB-T cuenta con el servicio de recepción móvil y portátil, asimismo un sistema de alarma ante desastres naturales.

Todos estos diferentes aspectos hacen estar a este estándar un peldaño por encima que lo convierte en una opción atractiva y viable para su debida implementación en Nicaragua.



## **ANEXO I.**

**Cálculos de Potencia Mínima (RSL) para cada estándar.**



## Calculando la potencia mínima (RSL) para cada estándar.

### Para el caso ISDB-T-QPSK

1. Calculando la potencia mínima de recepción mediante la ecuación (RSL), del estándar ISDB-T con un Bit Rate= 440 Kbps, tipo de modulación QPSK, con un Bit Error Rate (BER)=  $10^{-3}$ , para una figura de ruido de  $N_f(\text{dB})= 8\text{dB}$ . Al resultado le sumamos el valor de 30 para ver la RSL en dBm.

Como el  $\text{BER}=10^{-3}$ ; El valor del  $E_b/N_0$  será 10dB.

$$R_{SL\downarrow_{dBW}} = 10\text{dB} + 10\log_{10}(\text{Bit Rate } 440000) - 204 \text{ dBW} + 8 + 30$$

$$R_{SL\downarrow_{dBW}} = -99.57\text{dBm}$$

2. Calculando la potencia mínima de recepción mediante la ecuación (RSL), del estándar ISDB-T con un Bit Rate= 440 Kbps, tipo de modulación QPSK, con un Bit Error Rate (BER)=  $10^{-6}$ , para una figura de ruido de  $N_f(\text{dB})= 8\text{dB}$ . Al resultado le sumamos el valor de 30 para ver la RSL en dBm.

Como el  $\text{BER}=10^{-6}$ ; El valor del  $E_b/N_0$  será 14dB.

$$R_{SL\downarrow_{dBW}} = 14\text{dB} + 10\log_{10}(\text{Bit Rate } 440000) - 204 \text{ dBW} + 8 + 30$$

$$R_{SL\downarrow_{dBW}} = 14\text{dB} + 56.435\text{dB} - 204 \text{ dBW} + 8 + 30$$

$$R_{SL\downarrow_{dBW}} = -95.57\text{dBm}$$

### Para el caso SBTVD-QPSK

1. Calculando la potencia mínima de recepción mediante la ecuación (RSL), del estándar SBTVD con un Bit Rate= 220 Kbps, tipo de modulación QPSK, con un Bit Error Rate (BER)=  $10^{-3}$ , para una figura de ruido de  $N_f(\text{dB})= 8\text{dB}$ . Al resultado le sumamos el valor de 30 para ver la RSL en dBm.

Como el  $\text{BER}=10^{-3}$ ; El valor del  $E_b/N_0$  será 10dB.

$$R_{SL\downarrow_{dBW}} = 10\text{dB} + 10\log_{10}(\text{Bit Rate } 220000) - 204 \text{ dBW} + 8 + 30$$

$$R_{SL\downarrow_{dBW}} = 10\text{dB} + 53.424\text{dB} - 204 \text{ dBW} + 8 + 30$$

$$R_{SL\downarrow_{dBW}} = -102.58\text{dBm}$$



- Calculando la potencia mínima de recepción mediante la ecuación (RSL), del estándar SBTVD con un Bit Rate= 220 Kbps, tipo de modulación QPSK, con un Bit Error Rate (BER)=  $10^{-6}$ , para una figura de ruido de  $N_f(\text{dB})= 8\text{dB}$ . Al resultado le sumamos el valor de 30 para ver la RSL en dBm.

Como el  $\text{BER}=10^{-6}$ ; El valor del  $E_b/N_0$  será 14dB.

$$R_{SL\downarrow_{dBW}} = 14\text{dB} + 10\log_{10}(\text{Bit Rate } 220000) - 204 \text{ dBW} + 8 + 30$$

$$R_{SL\downarrow_{dBW}} = 14\text{dB} + 53.424\text{dB} - 204 \text{ dBW} + 8 + 30$$

$$R_{SL\downarrow_{dBW}} = -98.58\text{dBm}$$

### Para el caso DVB-T-64QAM

- Calculando la potencia mínima de recepción mediante la ecuación (RSL), del estándar DVB-T con un Bit Rate= 17.56Mbps, tipo de modulación 64QAM, con un Bit Error Rate (BER)=  $10^{-3}$ , para una figura de ruido de  $N_f(\text{dB})= 8\text{dB}$ . Al resultado le sumamos el valor de 30 para ver la RSL en dBm.

Como el  $\text{BER}=10^{-3}$ ; El valor del  $E_b/N_0$  será 14.5dB.

$$R_{SL\downarrow_{dBW}} = 14.5\text{dB} + 10\log_{10}(\text{Bit Rate } 17560000) - 204 \text{ dBW} + 8 + 30$$

$$R_{SL\downarrow_{dBW}} = 14.5\text{dB} + 72.45\text{dB} - 204 \text{ dBW} + 8 + 30$$

$$R_{SL\downarrow_{dBW}} = -79.05\text{dBm}$$

- Calculando la potencia mínima de recepción mediante la ecuación (RSL), del estándar DVB-T con un Bit Rate= 17.56Mbps, tipo de modulación 64QAM, con un Bit Error Rate (BER)=  $10^{-6}$ , para una figura de ruido de  $N_f(\text{dB})= 8\text{dB}$ . Al resultado le sumamos el valor de 30 para ver la RSL en dBm.

Como el  $\text{BER}=10^{-6}$ ; El valor del  $E_b/N_0$  será 18.5dB.

$$R_{SL\downarrow_{dBW}} = 18.5\text{dB} + 10\log_{10}(\text{Bit Rate } 17560000) - 204 \text{ dBW} + 8 + 30$$

$$R_{SL\downarrow_{dBW}} = 18.5\text{dB} + 72.45\text{dB} - 204 \text{ dBW} + 8 + 30$$

$$R_{SL\downarrow_{dBW}} = -75.055\text{dBm}$$

### Para el caso DTMB-64QAM

- Calculando la potencia mínima de recepción mediante la ecuación (RSL), del estándar DTMB con un Bit Rate= 8Mbps, tipo de modulación 64QAM, con un Bit Error Rate (BER)=  $10^{-3}$ , para una figura de ruido de  $N_f(\text{dB})= 8\text{dB}$ . Al resultado le sumamos el valor de 30 para ver la RSL en dBm.

Como el  $\text{BER}=10^{-3}$ ; El valor del  $E_b/N_0$  será 14.5dB.



$$R_{SL\downarrow dBw} = 14.5dB + 10\log_{10}(Bit\ Rate8000000) - 204\ dBw + 8 + 30$$

$$R_{SL\downarrow dBw} = 14.5dB + 69.0308dB - 204\ dBw + 8 + 30$$

$$R_{SL\downarrow dBw} = -82.47dBm$$

2. Calculando la potencia mínima de recepción mediante la ecuación (RSL), del estándar DTMB con un Bit Rate= 8Mbps, tipo de modulación 64QAM, con un Bit Error Rate (BER)=  $10^{-6}$ , para una figura de ruido de Nf(dB)= 8dB. Al resultado le sumamos el valor de 30 para ver la RSL en dBm.

Como el BER= $10^{-6}$ ; El valor del EbNo será 18.5dB.

$$R_{SL\downarrow dBw} = 18.5dB + 10\log_{10}(Bit\ Rate8000000) - 204\ dBw + 8 + 30$$

$$R_{SL\downarrow dBw} = 18.5dB + 69.0308dB - 204\ dBw + 8 + 30$$

$$R_{SL\downarrow dBw} = -78.47dBm$$

### Para el caso ISDB-T-64QAM

1. Calculando la potencia mínima de recepción mediante la ecuación (RSL), del estándar ISDB-T con un Bit Rate= 17.8Mbps, tipo de modulación 64QAM, con un Bit Error Rate (BER)=  $10^{-3}$ , para una figura de ruido de Nf(dB)= 8dB. Al resultado le sumamos el valor de 30 para ver la RSL en dBm.

Como el BER= $10^{-3}$ ; El valor del EbNo será 14.5dB.

$$R_{SL\downarrow dBw} = 14.5dB + 10\log_{10}(Bit\ Rate17800000) - 204\ dBw + 8 + 30$$

$$R_{SL\downarrow dBw} = 14.5dB + 72.5042dB - 204\ dBw + 8 + 30$$

$$R_{SL\downarrow dBw} = -78.99dBm$$

2. Calculando la potencia mínima de recepción mediante la ecuación (RSL), del estándar ISDB-T con un Bit Rate= 17.8Mbps, tipo de modulación 64QAM, con un Bit Error Rate (BER)=  $10^{-6}$ , para una figura de ruido de Nf(dB)= 8dB. Al resultado le sumamos el valor de 30 para ver la RSL en dBm.

Como el BER= $10^{-6}$ ; El valor del EbNo será 18.5dB.

$$R_{SL\downarrow dBw} = 18.5dB + 10\log_{10}(Bit\ Rate17800000) - 204\ dBw + 8 + 30$$

$$R_{SL\downarrow dBw} = 18.5dB + 72.5042dB - 204\ dBw + 8 + 30$$

$$R_{SL\downarrow dBw} = -74.99dBm$$



## Para el caso SBTVD-64QAM

1. Calculando la potencia mínima de recepción mediante la ecuación (RSL), del estándar SBTVD con un Bit Rate= 8Mbps, tipo de modulación 64QAM, con un Bit Error Rate (BER)=  $10^{-3}$ , para una figura de ruido de  $N_f(\text{dB})= 8\text{dB}$ . Al resultado le sumamos el valor de 30 para ver la RSL en dBm.

Como el  $\text{BER}=10^{-3}$ ; El valor del  $E_bN_o$  será 14.5dB.

$$R_{SL\downarrow_{dBw}} = 14.5\text{dB} + 10\text{Log}_{10}(\text{Bit Rate } 8000000) - 204 \text{ dBw} + 8 + 30$$

$$R_{SL\downarrow_{dBw}} = 14.5\text{dB} + 69.0308\text{dB} - 204 \text{ dBw} + 8 + 30$$

$$R_{SL\downarrow_{dBw}} = -82.47\text{dBm}$$

2. Calculando la potencia mínima de recepción mediante la ecuación (RSL), del estándar SBTVD con un Bit Rate= 8Mbps, tipo de modulación 64QAM, con un Bit Error Rate (BER)=  $10^{-6}$ , para una figura de ruido de  $N_f(\text{dB})= 8\text{dB}$ . Al resultado le sumamos el valor de 30 para ver la RSL en dBm.

Como el  $\text{BER}=10^{-6}$ ; El valor del  $E_bN_o$  será 18.5dB.

$$R_{SL\downarrow_{dBw}} = 18.5\text{dB} + 10\text{Log}_{10}(\text{Bit Rate } 8000000) - 204 \text{ dBw} + 8 + 30$$

$$R_{SL\downarrow_{dBw}} = 18.5\text{dB} + 69.0308\text{dB} - 204 \text{ dBw} + 8 + 30$$

$$R_{SL\downarrow_{dBw}} = -78.47\text{dBm}$$





## **ANEXO II**

**Cálculos de Pérdida por Espacio Libre (FSL) para los estándares SBTVD e  
ISDB-T.**



## Calculando la Pérdida por Espacio Libre (FSL) para los estándares SBTVD e ISDB-T.

### Cálculos para SBTVD.

Con los datos obtenidos en los ejercicios de RSL de cada estándar, de la ecuación  $PR_x = PIRE - FSL$  despejamos FSL para encontrar su valor para SBTVD e ISDB-T respectivamente.

Como la potencia de transmisión es de 500 W, el valor del PIRE será (le sumamos 30 para ver el resultado en dBm):

$$PIRE = 10 \log_{10} \left( \frac{500W}{1W} \right) + 30$$
$$PIRE = 56.99 \text{ dBm}$$

1. SBTVD con tipo de modulación QPSK, con un  $BER = 10^{-3}$  y una tasa de transferencia de 220Kbps tenemos:

$$PR_x = PIRE - FSL$$
$$\text{Sustituyendo: } -102.58 \text{ dBm} = 56.99 \text{ dBm} - FSL$$
$$\text{Despejando FSL (dB): } FSL = 102.58 \text{ dBm} + 56.99 \text{ dBm}$$
$$FSL = 159.57 \text{ dB}$$

2. SBTVD con tipo de modulación QPSK, con un  $BER = 10^{-6}$  y una tasa de transferencia de 220Kbps tenemos:

$$PR_x = PIRE - FSL$$
$$\text{Sustituyendo: } -98.58 \text{ dBm} = 56.99 \text{ dBm} - FSL$$
$$\text{Despejando FSL (dB): } FSL = 98.58 \text{ dBm} + 56.99 \text{ dBm}$$
$$FSL = 155.57 \text{ dB}$$

3. SBTVD con tipo de modulación 64-QAM, con un  $BER = 10^{-3}$  y una tasa de transferencia de 8Mbps tenemos:

$$PR_x = PIRE - FSL$$
$$\text{Sustituyendo: } -82.47 = 56.99 \text{ dBm} - FSL$$
$$\text{Despejando FSL (dB): } FSL = 82.47 \text{ dBm} + 56.99 \text{ dBm}$$
$$FSL = 139.46 \text{ dB}$$

4. SBTVD con tipo de modulación 64-QAM con un  $BER = 10^{-6}$  y una tasa de transferencia de 8Mbps tenemos:

$$PR_x = PIRE - FSL$$
$$\text{Sustituyendo: } -78.47 = 56.99 \text{ dBm} - FSL$$
$$\text{Despejando FSL (dB): } FSL = 78.47 \text{ dBm} + 56.99 \text{ dBm}$$
$$FSL = 135.46 \text{ dB}$$



## Cálculos para ISDB-T.

1. ISDB-T con tipo de modulación QPSK, con un  $BER = 10^{-3}$  y una tasa de transferencia de 440Kbps tenemos:

$$PR_x = PIRE - FSL$$

$$\text{Sustituyendo: } -99.57\text{dBm} = 56.99\text{dBm} - FSL$$

$$\text{Despejando FSL (dB): } FSL = 99.57\text{dBm} + 56.99\text{dBm}$$

$$FSL = 156.56\text{ dB}$$

2. ISDB-T con tipo de modulación QPSK, con un  $BER = 10^{-6}$  y una tasa de transferencia de 440Kbps tenemos:

$$PR_x = PIRE - FSL$$

$$\text{Sustituyendo: } -95.57\text{dBm} = 56.99\text{dBm} - FSL$$

$$\text{Despejando FSL (dB): } FSL = 95.57\text{dBm} + 56.99\text{dBm}$$

$$FSL = 152.56\text{ dB}$$

3. ISDB-T con tipo de modulación 64-QAM, con un  $BER = 10^{-3}$  y una tasa de transferencia de 17.8Mbps tenemos:

$$PR_x = PIRE - FSL$$

$$\text{Sustituyendo: } -78.99\text{dBm} = 56.99\text{dBm} - FSL$$

$$\text{Despejando FSL (dB): } FSL = 78.99\text{dBm} + 56.99\text{dBm}$$

$$FSL = 135.98\text{ dB}$$

4. ISDB-T con tipo de modulación 64-QAM, con un  $BER = 10^{-6}$  y una tasa de transferencia de 17.8Mbps tenemos:

$$PR_x = PIRE - FSL$$

$$\text{Sustituyendo: } -74.99\text{dBm} = 56.99\text{dBm} - FSL$$

$$\text{Despejando FSL (dB): } FSL = 74.99\text{dBm} + 56.99\text{dBm}$$

$$FSL = 131.98\text{ dB}$$



## **ANEXO III**

**DataSheet Antenas R.V.R Modelo PUHFI en UHF.**



Horizontal polarization

- *Model : PUHF1*
- *Bandwidth 470 ÷ 860 MHz*
- *TV antenna*
- *4 dipoles antenna with panel reflector and protection radome*
- *Suitable for directional, semi-directional or omnidirectional UHF stacked-array systems*
- *Directional antenna*

#### ELECTRICAL DATA

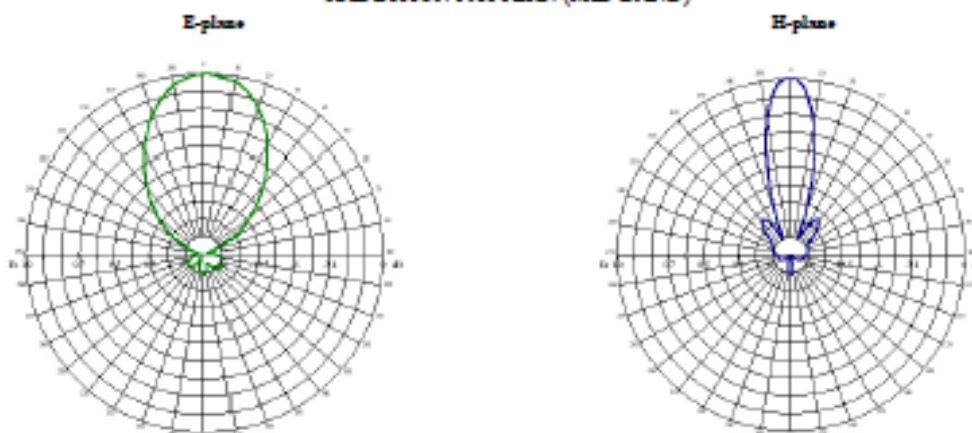
Frequency range	470 ÷ 860 MHz
Impedance	50 Ohm
Connectors	7/16" female input connector (N female or 7/8" EIA on request)
Max Power	1000W - 7/16" 2500W with 7/8" flange
VSWR	≤ 1.13:1
Polarization	Horizontal
Gain	9.55 dBi (11.7 dBi) - (470 MHz) 11.0 dBi (13.2 dBi) - (630 MHz) 12.0 dBi (14.1 dBi) - (860 MHz)
Half power beam width	E plane ± 60° at -3dB H plane ± 25° at -3dB
Lightning protection	DC grounded dipoles

#### MECHANICAL DATA

Dimensions	1000x450x270 mm (HxD.xW) 1070x530x360 mm (Packing size)
Weight	14 Kg (17 Kg including packing)
Wind surface	0.45 m <sup>2</sup> (front) 0.25 m <sup>2</sup> (side)
Wind load	89 Kg (wind speed at 160 km/h)*
Max wind velocity	200 km/h*
Materials	Panel reflector and bolts: stainless steel Lines and Dipole: silver-plated copper and brass Silicone - O-rings - Teflon insulator <b>Radome: Fiberglass</b>
Lighting protection	Fiberglass radome
Radome color	White
Mounting	4 holes threaded M8 at 980x85 mm spacing, or thought tiltable or fix mounting brackets for poles (optional)

\* Antenna wind load is calculated for 100 Mph (160 Km/h) per EIA-222-F standard

#### RADIATION PATTERN (MID BAND)



RVR USA 7782 NW 46 ST Miami, FL 33166 T: 305-471-9091 F: 305-471-6979  
WWW.RVUSA.COM



- Radiations systems with PUHF1 antenna
- Omnidirectional or directional pattern
- Balanced or unbalanced splitting power

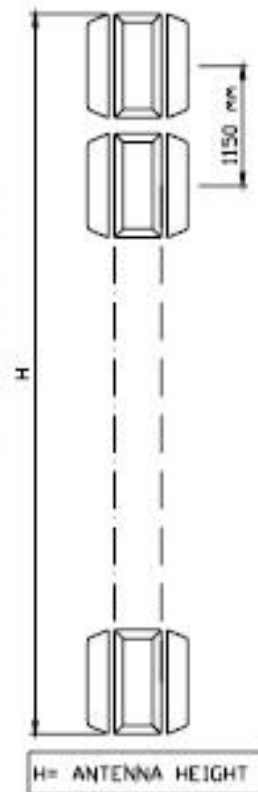
#### ELECTRICAL DATA

Frequency range	470 + 860 MHz
Impedance	50 Ohm
Connector	7/16" female input connector (N female or 7/8" FIA on request)
VSWR	≤ 1.13:1 Max
Polarization	Horizontal
Gain	Refer to table
Horizontal pattern	Directional, omnidirectional or customer designed
Other facilities	The antenna system can be supplied in split feed with two equal half antennas. Each half can accept full power

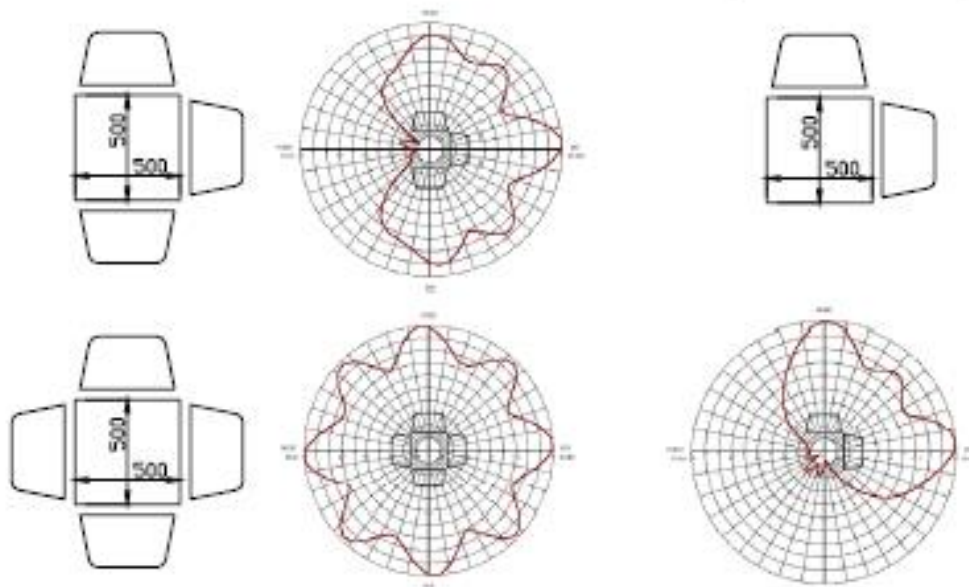
#### MECHANICAL DATA

Height of array	Subject to number of bays ( refer to table )
Total net weight	Refer to table
Wind load	Refer to table
Radiome color	White
Mounting hardware	4 holes threaded M8 at 980x85 mm spacing, or through tiltable or fix mounting brackets for poles (optional)
Shipping	As required

Horizontal Patterns with 2, 3 and 4 faces at Mid Band



H= ANTENNA HEIGHT



RVR USA 7782 NW 46 ST Miami, FL 33166 T: 305-471-9091 F: 305-471-6979  
www.rvrusa.com



**NOTA:** Con un arreglo de antenas de 4 paneles una ganancia = 10.6dB

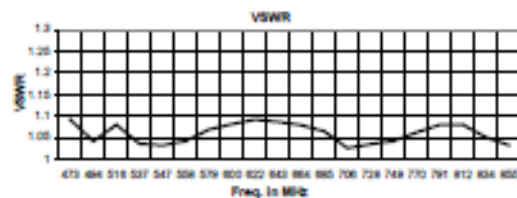
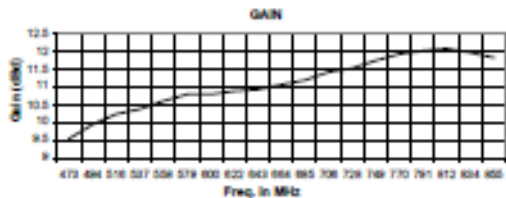
### TECHNICAL DATA

Number of bays	Panels per bay	Gain <sup>1</sup> 470 MHz		Gain <sup>1</sup> 630 MHz		Gain <sup>1</sup> 860 MHz		Weight <sup>2</sup> kg	Antenna height H m	Wind load <sup>3</sup> (v=160 km/h) kg
		dB	times	dB	times	dB	times			
1	2	6.5	4.46	7.8	6.02	9.5	8.91	35	1.0	256
	3	5.0	3.16	5.8	3.80	7.7	5.89	50		313
	4	3.2	2.09	4.6	2.88	6.1	4.07	65		303
2	1	12.5	17.78	13.9	24.55	14.8	3.20	35	2.15	178
	2	9.5	8.91	10.8	12.02	12.5	17.78	65		382
	3	8.0	6.30	8.8	7.58	10.7	11.75	102		468
	4	6.2	4.17	7.6	5.75	9.1	8.13	130		453
4	1	15.5	35.48	16.9	48.90	17.8	60.25	65	4.45	356
	2	12.5	17.78	13.8	23.99	15.5	35.48	130		570
	3	11.0	12.59	11.8	15.13	13.7	23.44	188		698
	4	9.2	8.31	10.6	11.48	12.1	16.22	250		677
6	1	17.3	53.70	18.7	74.13	19.5	89.12	102	6.75	534
	2	14.3	26.91	15.6	36.30	17.9	61.66	188		851
	3	12.7	18.62	13.6	22.90	15.5	35.48	275		1048
	4	11.0	12.59	12.4	17.37	13.8	23.99	360		1015
8	1	18.5	70.79	19.9	97.72	20.8	120.23	130	9.05	712
	2	15.5	35.48	16.8	47.86	18.5	70.79	250		1135
	3	14.0	25.11	14.8	30.19	16.7	46.77	360		1397
	4	12.2	16.59	13.6	22.9	15.1	32.36	490		1354
12	1	20.3	107.15	21.7	147.91	22.5	177.83	188	13.65	1068
	2	17.3	53.70	18.6	72.44	20.2	104.71	360		1700
	3	15.7	37.15	16.6	45.71	18.5	70.79	550		2096
	4	14.0	25.11	15.4	34.67	16.8	47.86	730		2030
16	1	21.5	141.25	22.9	194.98	23.5	354.81	130	18.25	1424
	2	18.5	70.79	19.8	95.50	21.5	141.25	490		2270
	3	17.0	50.11	17.8	60.25	19.7	93.32	730		2795
	4	15.2	33.11	16.6	45.70	18.1	64.56	960		2707

<sup>1</sup> referred to a half wave dipole. Attenuation of connecting cables not taken into account.

<sup>2</sup> without mounting hardware

<sup>3</sup> according to the tower type, for more details contact us

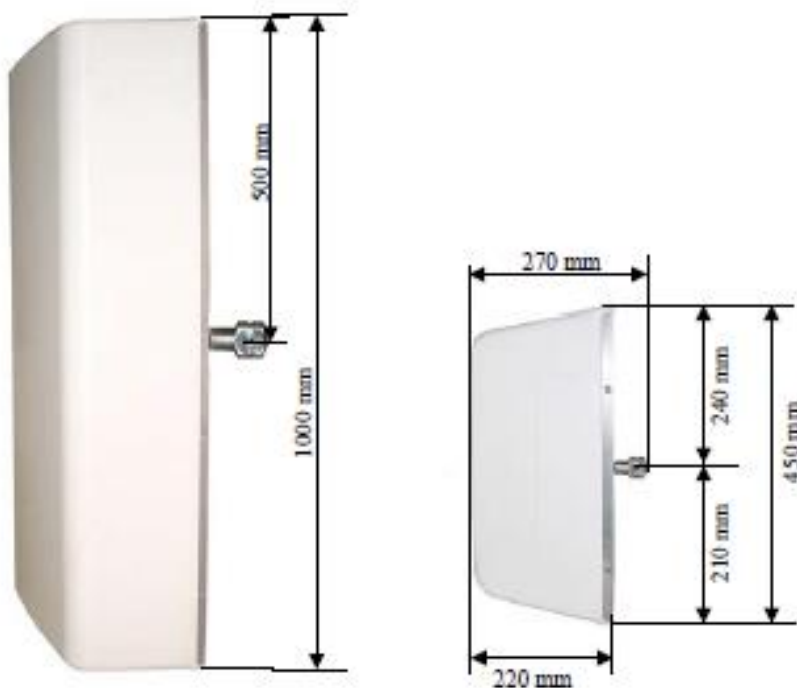


RVR USA 7782 NW 46 ST Miami, FL 33166 T: 305-471-9091 F: 305-471-6979  
WWW.RVRUSA.COM





#### PANEL DIMENSION



#### HARDWARE MOUNTING (OPTIONAL)



Couple of fix brackets for mounting on a pole (optional)

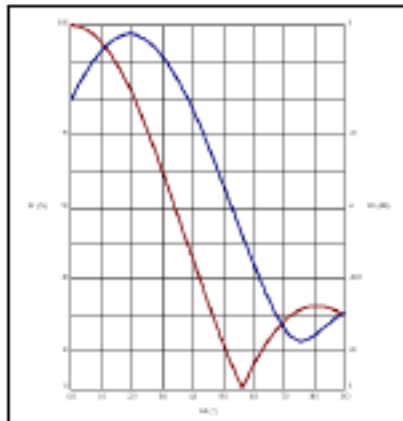


Couple of tiltable brackets for mounting on a pole (optional)

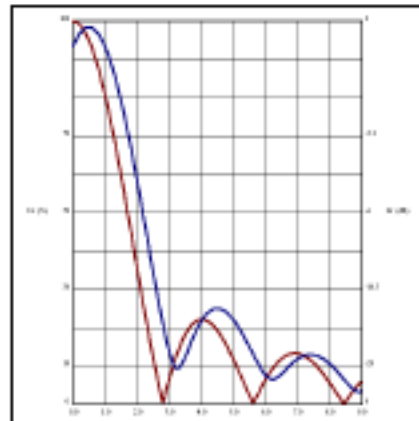


**VERTICAL PATTERN** — Without null fill  
— With null fill and beam tilt

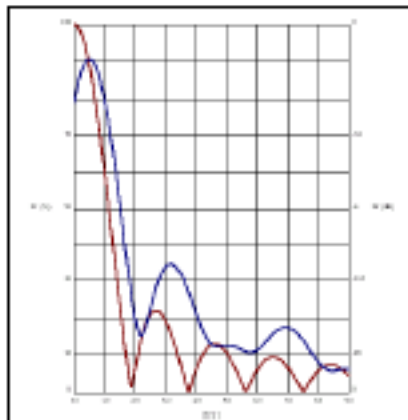
4 Bays



8 Bays



12 Bays



- Gain is provided for horizontal polarization.
- If the antenna is side mounted, the supporting structure will have a slight effect on the radiation pattern and VSWR.
- Vertical tower space, wind load and weight numbers given are typical. Actual values vary with the specific installation. Contact us for more details of your installation.
- Gain will be reduced if null fill, beam tilt or special wavelength spacing is provided.
- Antenna radiation aperture is the distance from the centre of the top bay to the centre of the bottom bay.
- Antenna wind load is calculated for 100 Mph (160Kmh) per EIA-222-F standard.

RVR USA 7782 NW 46 ST Miami, FL 33166 T: 305-471-9091 F: 305-471-6979  
WWW.RVTUSA.COM



## **ANEXO IV**

**¿A cuántos Mbps podría transmitir ISDB-T a 33 km si a 28 km transmite 17.8 Mbps?**



### Tasa de transferencia 17.8 Mbps, Probabilidad de Error = $10^{-6}$ y un esquema de modulación de 64-QAM

Nivel de Recepción Mínima -RSL

$$\begin{aligned} R_{SL\downarrow dBw} &= 18.5dB + 10\log_{10}(\text{Bit Rate } 17800000) - 204 \text{ dBw} + 8 + 30 \\ R_{SL\downarrow dBw} &= 18.5dB + 72.5042dB - 204 \text{ dBw} + 8 + 30 \\ R_{SL\downarrow dBw} &= -74.99dBm \end{aligned}$$

Perdida por Espacio Libre -FSL

$$\begin{aligned} PRx &= PIRE - FSL \\ \text{Sustituyendo: } -74.99dBm &= 56.99dBm - FSL \\ \text{Despejando FSL (dB): } FSL &= 74.99dBm + 56.99dBm \\ FSL &= 131.98 \text{ dB} \end{aligned}$$

### Tasa de transferencia 16.8 Mbps, Probabilidad de Error = $10^{-6}$ y un esquema de modulación de 64-QAM

Nivel de Recepción Mínima -RSL

$$\begin{aligned} R_{SL\downarrow dBw} &= 18.5dB + 10\log_{10}(\text{Bit Rate } 16800000) - 204 \text{ dBw} + 8 + 30 \\ R_{SL\downarrow dBw} &= 18.5dB + 72.2531dB - 204 \text{ dBw} + 8 + 30 \\ R_{SL\downarrow dBw} &= -75.2469dBm \end{aligned}$$

Perdida por Espacio Libre -FSL

$$\begin{aligned} PRx &= PIRE - FSL \\ \text{Sustituyendo: } -75.2469dBm &= 56.99dBm - FSL \\ \text{Despejando FSL (dB): } FSL &= 74.99dBm + 56.99dBm \\ FSL &= 132.2369 \text{ dB} \end{aligned}$$

### Tasa de transferencia 15.8 Mbps, Probabilidad de Error = $10^{-6}$ y un esquema de modulación de 64-QAM

Nivel de Recepción Mínima -RSL

$$\begin{aligned} R_{SL\downarrow dBw} &= 18.5dB + 10\log_{10}(\text{Bit Rate } 15800000) - 204 \text{ dBw} + 8 + 30 \\ R_{SL\downarrow dBw} &= 18.5dB + 71.9866dB - 204 \text{ dBw} + 8 + 30 \\ R_{SL\downarrow dBw} &= -75.5134dBm \end{aligned}$$

Perdida por Espacio Libre -FSL

$$\begin{aligned} PRx &= PIRE - FSL \\ \text{Sustituyendo: } -75.5134dBm &= 56.99dBm - FSL \\ \text{Despejando FSL (dB): } FSL &= 75.5134dBm + 56.99dBm \\ FSL &= 132.5034 \text{ dB} \end{aligned}$$

### Tasa de transferencia 14.8 Mbps, Probabilidad de Error = $10^{-6}$ y un esquema de modulación de 64-QAM

Nivel de Recepción Mínima -RSL

$$\begin{aligned} R_{SL\downarrow dBw} &= 18.5dB + 10\log_{10}(\text{Bit Rate } 14800000) - 204 \text{ dBw} + 8 + 30 \\ R_{SL\downarrow dBw} &= 18.5dB + 71.7026dB - 204 \text{ dBw} + 8 + 30 \\ R_{SL\downarrow dBw} &= -75.7974dBm \end{aligned}$$



Perdida por Espacio Libre –FSL

$$PRx = PIRE - FSL$$

$$\text{Sustituyendo: } -75.7974\text{dBm} = 56.99\text{dBm} - FSL$$

$$\text{Despejando FSL (dB): } FSL = 75.7974\text{dBm} + 56.99\text{dBm}$$

$$FSL = 132.7874\text{ dB}$$

**Tasa de transferencia 13.8 Mbps, Probabilidad de Error =  $10^{-6}$  y un esquema de modulación de 64-QAM**

Nivel de Recepción Mínima –RSL

$$R_{SL\downarrow\text{dBw}} = 18.5\text{dB} + 10\text{Log}_{10}(\text{Bit Rate } 13800000) - 204\text{ dBw} + 8 + 30$$

$$R_{SL\downarrow\text{dBw}} = 18.5\text{dB} + 71.3988\text{dB} - 204\text{ dBw} + 8 + 30$$

$$R_{SL\downarrow\text{dBw}} = -76.1012\text{Bm}$$

Perdida por Espacio Libre –FSL

$$PRx = PIRE - FSL$$

$$\text{Sustituyendo: } -76.1012\text{dBm} = 56.99\text{dBm} - FSL$$

$$\text{Despejando FSL (dB): } FSL = 76.1012\text{dBm} + 56.99\text{dBm}$$

$$FSL = 133.0912\text{ dB}$$

**Tasa de transferencia 12.8 Mbps, Probabilidad de Error =  $10^{-6}$  y un esquema de modulación de 64-QAM**

Nivel de Recepción Mínima –RSL

$$R_{SL\downarrow\text{dBw}} = 18.5\text{dB} + 10\text{Log}_{10}(\text{Bit Rate } 12800000) - 204\text{ dBw} + 8 + 30$$

$$R_{SL\downarrow\text{dBw}} = 18.5\text{dB} + 71.0721\text{dB} - 204\text{ dBw} + 8 + 30$$

$$R_{SL\downarrow\text{dBw}} = -76.4279\text{Bm}$$

Perdida por Espacio Libre –FSL

$$PRx = PIRE - FSL$$

$$\text{Sustituyendo: } -76.4279\text{dBm} = 56.99\text{dBm} - FSL$$

$$\text{Despejando FSL (dB): } FSL = 76.4279\text{dBm} + 56.99\text{dBm}$$

$$FSL = 133.4179\text{ dB}$$

**Tasa de transferencia 10.8 Mbps, Probabilidad de Error =  $10^{-6}$  y un esquema de modulación de 64-QAM**

Nivel de Recepción Mínima –RSL

$$R_{SL\downarrow\text{dBw}} = 18.5\text{dB} + 10\text{Log}_{10}(\text{Bit Rate } 10800000) - 204\text{ dBw} + 8 + 30$$

$$R_{SL\downarrow\text{dBw}} = 18.5\text{dB} + 70.7442\text{dB} - 204\text{ dBw} + 8 + 30$$

$$R_{SL\downarrow\text{dBw}} = -77.1658\text{Bm}$$

Perdida por Espacio Libre –FSL

$$PRx = PIRE - FSL$$

$$\text{Sustituyendo: } -77.1658\text{dBm} = 56.99\text{dBm} - FSL$$

$$\text{Despejando FSL (dB): } FSL = 77.1658\text{dBm} + 56.99\text{dBm}$$

$$FSL = 134.1558\text{ dB}$$



### Tasa de transferencia 9.8 Mbps, Probabilidad de Error = $10^{-6}$ y un esquema de modulación de 64-QAM

Nivel de Recepción Mínima –RSL

$$\begin{aligned} R_{SL\downarrow dBw} &= 18.5dB + 10\log_{10}(\text{Bit Rate } 98000000) - 204 \text{ dBw} + 8 + 30 \\ R_{SL\downarrow dBw} &= 18.5dB + 69.9134dB - 204 \text{ dBw} + 8 + 30 \\ R_{SL\downarrow dBw} &= -77.5877Bm \end{aligned}$$

Perdida por Espacio Libre –FSL

$$\begin{aligned} PRx &= PIRE - FSL \\ \text{Sustituyendo: } -77.5877dBm &= 56.99dBm - FSL \\ \text{Despejando FSL (dB): } FSL &= 77.5877dBm + 56.99dBm \\ FSL &= 134.5777 \text{ dB} \end{aligned}$$

### Tasa de transferencia 8.8 Mbps, Probabilidad de Error = $10^{-6}$ y un esquema de modulación de 64-QAM

Nivel de Recepción Mínima –RSL

$$\begin{aligned} R_{SL\downarrow dBw} &= 18.5dB + 10\log_{10}(\text{Bit Rate } 88000000) - 204 \text{ dBw} + 8 + 30 \\ R_{SL\downarrow dBw} &= 18.5dB + 69.4448dB - 204 \text{ dBw} + 8 + 30 \\ R_{SL\downarrow dBw} &= -78.0552Bm \end{aligned}$$

Perdida por Espacio Libre –FSL

$$\begin{aligned} PRx &= PIRE - FSL \\ \text{Sustituyendo: } -78.0552dBm &= 56.99dBm - FSL \\ \text{Despejando FSL (dB): } FSL &= 78.0552dBm + 56.99dBm \\ FSL &= 135.0452 \text{ dB} \end{aligned}$$

### Tasa de transferencia 7.8 Mbps, Probabilidad de Error = $10^{-6}$ y un esquema de modulación de 64-QAM

Nivel de Recepción Mínima –RSL

$$\begin{aligned} R_{SL\downarrow dBw} &= 18.5dB + 10\log_{10}(\text{Bit Rate } 78000000) - 204 \text{ dBw} + 8 + 30 \\ R_{SL\downarrow dBw} &= 18.5dB + 68.9209dB - 204 \text{ dBw} + 8 + 30 \\ R_{SL\downarrow dBw} &= -78.5791dBm \end{aligned}$$

Perdida por Espacio Libre –FSL

$$\begin{aligned} PRx &= PIRE - FSL \\ \text{Sustituyendo: } -78.5791dBm &= 56.99dBm - FSL \\ \text{Despejando FSL (dB): } FSL &= 78.5791dBm + 56.99dBm \\ FSL &= 135.5691 \text{ dB} \end{aligned}$$

### Tasa de transferencia 6.8 Mbps, Probabilidad de Error = $10^{-6}$ y un esquema de modulación de 64-QAM

Nivel de Recepción Mínima –RSL

$$\begin{aligned} R_{SL\downarrow dBw} &= 18.5dB + 10\log_{10}(\text{Bit Rate } 68000000) - 204 \text{ dBw} + 8 + 30 \\ R_{SL\downarrow dBw} &= 18.5dB + 68.3250dB - 204 \text{ dBw} + 8 + 30 \\ R_{SL\downarrow dBw} &= -79.1749dBm \end{aligned}$$



Perdida por Espacio Libre –FSL

$$PRx = PIRE - FSL$$

$$\text{Sustituyendo: } -79.1749\text{dBm} = 56.99\text{dBm} - FSL$$

$$\text{Despejando FSL (dB): } FSL = 79.1749\text{dBm} + 56.99\text{dBm}$$

$$FSL = 136.1649 \text{ dB}$$

**Tasa de transferencia 5.8 Mbps, Probabilidad de Error =  $10^{-6}$  y un esquema de modulación de 64-QAM**

Nivel de Recepción Mínima –RSL

$$R_{SL\downarrow dBw} = 18.5\text{dB} + 10\text{Log}_{10}(\text{Bit Rate } 5800000) - 204 \text{ dBw} + 8 + 30$$

$$R_{SL\downarrow dBw} = 18.5\text{dB} + 67.6343\text{dB} - 204 \text{ dBw} + 8 + 30$$

$$R_{SL\downarrow dBw} = -79.8657\text{dBm}$$

Perdida por Espacio Libre –FSL

$$PRx = PIRE - FSL$$

$$\text{Sustituyendo: } -79.8657\text{dBm} = 56.99\text{dBm} - FSL$$

$$\text{Despejando FSL (dB): } FSL = 79.8657\text{dBm} + 56.99\text{dBm}$$

$$FSL = 136.8857 \text{ dB}$$

**Tasa de transferencia 4.8 Mbps, Probabilidad de Error =  $10^{-6}$  y un esquema de modulación de 64-QAM**

Nivel de Recepción Mínima –RSL

$$R_{SL\downarrow dBw} = 18.5\text{dB} + 10\text{Log}_{10}(\text{Bit Rate } 4800000) - 204 \text{ dBw} + 8 + 30$$

$$R_{SL\downarrow dBw} = 18.5\text{dB} + 66.8124\text{dB} - 204 \text{ dBw} + 8 + 30$$

$$R_{SL\downarrow dBw} = -80.6876\text{dBm}$$

Perdida por Espacio Libre –FSL

$$PRx = PIRE - FSL$$

$$\text{Sustituyendo: } -80.6876\text{dBm} = 56.99\text{dBm} - FSL$$

$$\text{Despejando FSL (dB): } FSL = 80.6876\text{dBm} + 56.99\text{dBm}$$

$$FSL = 137.6776 \text{ dB}$$

**Tasa de transferencia 3.8 Mbps, Probabilidad de Error =  $10^{-6}$  y un esquema de modulación de 64-QAM**

Nivel de Recepción Mínima –RSL

$$R_{SL\downarrow dBw} = 18.5\text{dB} + 10\text{Log}_{10}(\text{Bit Rate } 3800000) - 204 \text{ dBw} + 8 + 30$$

$$R_{SL\downarrow dBw} = 18.5\text{dB} + 65.7978\text{dB} - 204 \text{ dBw} + 8 + 30$$

$$R_{SL\downarrow dBw} = -81.7022\text{dBm}$$

Perdida por Espacio Libre –FSL

$$PRx = PIRE - FSL$$

$$\text{Sustituyendo: } -81.7022\text{dBm} = 56.99\text{dBm} - FSL$$

$$\text{Despejando FSL (dB): } FSL = 81.7022\text{dBm} + 56.99\text{dBm}$$

$$FSL = 138.6922 \text{ dB}$$





## Tasa de transferencia 2.8 Mbps, Probabilidad de Error = $10^{-6}$ y un esquema de modulación de 64-QAM

Nivel de Recepción Mínima –RSL

$$R_{SL\downarrow dBw} = 18.5dB + 10\log_{10}(\text{Bit Rate } 2800000) - 204 \text{ dBw} + 8 + 30$$

$$R_{SL\downarrow dBw} = 18.5dB + 64.4716dB - 204 \text{ dBw} + 8 + 30$$

$$R_{SL\downarrow dBw} = -83.0284dBm$$

Perdida por Espacio Libre –FSL

$$PRx = PIRE - FSL$$

Sustituyendo:  $-83.0284dBm = 56.99dBm - FSL$

Despejando FSL (dB):  $FSL = 83.0284dBm + 56.99dBm$

$$FSL = 140.0184 \text{ dB}$$

## Tasa de transferencia 1.8 Mbps, Probabilidad de Error = $10^{-6}$ y un esquema de modulación de 64-QAM

Nivel de Recepción Mínima –RSL

$$R_{SL\downarrow dBw} = 18.5dB + 10\log_{10}(\text{Bit Rate } 1800000) - 204 \text{ dBw} + 8 + 30$$

$$R_{SL\downarrow dBw} = 18.5dB + 62.5527dB - 204 \text{ dBw} + 8 + 30$$

$$R_{SL\downarrow dBw} = -84.9473dBm$$

Perdida por Espacio Libre –FSL

$$PRx = PIRE - FSL$$

Sustituyendo:  $-84.9473dBm = 56.99dBm - FSL$

Despejando FSL (dB):  $FSL = 84.9473dBm + 56.99dBm$

$$FSL = 141.9373 \text{ dB}$$

Se realizó en Matlab un m-file para generar la gráfica de las escaleras en donde analizamos los niveles de bit rate cuando ISDB-T supera su distancia óptima, esto en función de los resultados obtenidos en los ejercicios anteriores y con el m-file de modelo de propagación por espacio libre para ISDB-T de donde calculamos las distancias.

```
a=[17.8
    16.8
    15.8
    14.8
    13.8
    12.8
    11.8
    10.8
    9.8
    8.8
    7.8
    6.8
    5.8
    4.8
    3.8
    2.8
    1.8];
b=[ 28
    28
    28.5
    28.7
    29.1
    29.6
    30
    31
    32.2
    32.8
    33
    34
    35
    37
    39
    42
    46];
stairs (b,a)
grid
```



## Bibliografía.

- [1] J. M. Hernando R. Comunicaciones móviles. Segunda Edición. España: Editorial Centro de Estudios Ramón Areces S.A, 2004.
- [2] Referencia Web: <http://www.confidencial.com.ni/articulo/1632/nicaragua-coquetea-con-la-tv-digital>
- [3] Referencia Web: <http://www.slideshare.net/sckyscraper/origen-de-la-televisin-10327395>
- [4] Referencia Web: <http://es.dtvstatus.net/>
- [5] Referencia Web: <http://personales.unican.es/perezvr/pdf/Estandares%20de%20transmision%20digital.pdf>
- [6] Referencia Web: <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1159/1/CD-2628.pdf>
- [7] Referencia Web: <http://www.ieee.org.ar/downloads/2006-dvb.pdf>
- [8] Referencia Web: <http://www.dibeg.org/techp/3comp/3comp.html>
- [9] Referencia Web: <http://www.dibeg.org/techp/structure/structure.html>
- [10] Referencia Web: [http://www.dibeg.org/techp/what/what\\_is\\_isdb-t.html](http://www.dibeg.org/techp/what/what_is_isdb-t.html)
- [11] Referencia Web: <http://www.dibeg.org/techp/3comp/3comp.html>
- [12] Referencia Web: [http://www.edutecne.utn.edu.ar/cytal\\_frvn/CyTAL\\_2012/TF/TF013.pdf](http://www.edutecne.utn.edu.ar/cytal_frvn/CyTAL_2012/TF/TF013.pdf)
- [13] Referencia Web: [http://www.dibeg.org/news/previous\\_doc/0706\\_3Argentina\\_ISDB-T\\_seminar/Argentina\\_ISDB-T\\_seminar\\_3\\_transmission\\_system\(spanish\)rev1.pdf](http://www.dibeg.org/news/previous_doc/0706_3Argentina_ISDB-T_seminar/Argentina_ISDB-T_seminar_3_transmission_system(spanish)rev1.pdf)
- [14] Referencia Web: [http://www.enensys.com/documents/whitePapers/ENENSYS%20Technologies%20-%20Single\\_frequency\\_network%20Overview.pdf](http://www.enensys.com/documents/whitePapers/ENENSYS%20Technologies%20-%20Single_frequency_network%20Overview.pdf)
- [15] Referencia Web: [http://www.dibeg.org/news/2008/0810Philippins\\_ISDB-T\\_seminar/Presentation7.pdf](http://www.dibeg.org/news/2008/0810Philippins_ISDB-T_seminar/Presentation7.pdf)

